



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE MECÁNICA ESCUELA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

**“CONSTRUCCIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE UN
PROTOTIPO DE UNA MÁQUINA CENTRIFUGADORA
VERTICAL PARA LA OBTENCIÓN DE EJES
CILÍNDRICOS DE ALUMINIO EN EL TALLER DE
FUNDICIÓN DE LA FACULTAD DE MECÁNICA DE LA
ESPOCH”.**

**VALLES BONILLA OSCAR EDELMAR
BENAVIDES TORRES JAIME PATRICIO**

TESIS DE GRADO

Previa a la obtención del Título de:

INGENIERO INDUSTRIAL

RIOBAMBA – ECUADOR

2014

ESPOCH

Facultad de Mecánica

CERTIFICADO DE APROBACIÓN DE TESIS

2013-06-27

Yo recomiendo que la Tesis preparada por:

OSCAR EDELMAR VALLES BONILLA

Titulada:

“CONSTRUCCIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE UN PROTOTIPO DE UNA MÁQUINA CENTRIFUGADORA VERTICAL PARA LA OBTENCIÓN DE EJES CILÍNDRICOS DE ALUMINIO EN EL TALLER DE FUNDICIÓN DE LA FACULTAD DE MECÁNICA DE LA ESPOCH”.

Sea aceptada como parcial complementación de los requerimientos para el Título de:

INGENIERO INDUSTRIAL

Ing. Marco Santillán Gallegos
DECANO DE LA FAC. DE MECÁNICA

Nosotros coincidimos con esta recomendación:

Ing. José Pérez Fiallos
DIRECTOR DE TESIS

Ing. Jorge Freire Miranda
ASESOR DE TESIS

ESPOCH

Facultad de Mecánica

CERTIFICADO DE EXAMINACIÓN DE TESIS

NOMBRE DEL ESTUDIANTE: OSCAR EDELMAR VALLES BONILLA

TÍTULO DE LA TESIS: “CONSTRUCCIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE UN PROTOTIPO DE UNA MÁQUINA CENTRIFUGADORA VERTICAL PARA LA OBTENCIÓN DE EJES CILÍNDRICOS DE ALUMINIO EN EL TALLER DE FUNDICIÓN DE LA FACULTAD DE MECÁNICA DE LA ESPOCH”.

Fecha de Examinación: 2014-06-25

RESULTADO DE LA EXAMINACIÓN:

COMITÉ DE EXAMINACIÓN	APRUEBA	NO APRUEBA	FIRMA
Ing. Carlos Santillán Mariño PRESIDENTE TRIB. DEFENSA			
Ing. José Pérez Fiallos DIRECTOR DE TESIS			
Ing. Jorge Freire Miranda ASESOR			

* Más que un voto de no aprobación es razón suficiente para la falla total.

RECOMENDACIONES: _____

El Presidente del Tribunal certifica que las condiciones de la defensa se han cumplido.

Ing. Carlos Santillán Mariño
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

ESPOCH

Facultad de Mecánica

CERTIFICADO DE APROBACIÓN DE TESIS

2013-06-27

Yo recomiendo que la Tesis preparada por:

JAIME PATRICIO BENAVIDES TORRES

Titulada:

“CONSTRUCCIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE UN PROTOTIPO DE UNA MÁQUINA CENTRIFUGADORA VERTICAL PARA LA OBTENCIÓN DE EJES CILÍNDRICOS DE ALUMINIO EN EL TALLER DE FUNDICIÓN DE LA FACULTAD DE MECÁNICA DE LA ESPOCH”.

Sea aceptada como parcial complementación de los requerimientos para el Título de:

INGENIERO INDUSTRIAL

Ing. Marco Santillán Gallegos
DECANO DE LA FAC. DE MECÁNICA

Nosotros coincidimos con esta recomendación:

Ing. José Pérez Fiallos
DIRECTOR DE TESIS

Ing. Jorge Freire Miranda
ASESOR DE TESIS

ESPOCH

Facultad de Mecánica

CERTIFICADO DE EXAMINACIÓN DE TESIS

NOMBRE DEL ESTUDIANTE: JAIME PATRICIO BENAVIDES TORRES

TÍTULO DE LA TESIS: “CONSTRUCCIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE UN PROTOTIPO DE UNA MÁQUINA CENTRIFUGADORA VERTICAL PARA LA OBTENCIÓN DE EJES CILÍNDRICOS DE ALUMINIO EN EL TALLER DE FUNDICIÓN DE LA FACULTAD DE MECÁNICA DE LA ESPOCH”.

Fecha de Examinación: 2014-06-25

RESULTADO DE LA EXAMINACIÓN:

COMITÉ DE EXAMINACIÓN	APRUEBA	NO APRUEBA	FIRMA
Ing. Carlos Santillán Mariño PRESIDENTE TRIB. DEFENSA			
Ing. José Pérez Fiallos DIRECTOR DE TESIS			
Ing. Jorge Freire Miranda ASESOR			

* Más que un voto de no aprobación es razón suficiente para la falla total.

RECOMENDACIONES: _____

El Presidente del Tribunal certifica que las condiciones de la defensa se han cumplido.

Ing. Carlos Santillán Mariño
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

DERECHOS DE AUTORÍA

El trabajo de grado que presento, es original y basado en el proceso de investigación y/o adaptación tecnológica establecido en la Facultad de Mecánica de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. En tal virtud, los fundamentos teóricos – científicos y los resultados son de exclusiva responsabilidad de los autores. El patrimonio intelectual le pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Oscar Edelmar Valles Bonilla

Jaime Patricio Benavides Torres

DEDICATORIA

Este trabajo de graduación va dedicado a mis padres quienes han sido los pilares fundamentales para mi vida y sin los cuales no hubiese logrado alcanzar mis metas propuestas. Su constancia y ejemplo me han hecho destacar en todo momento de mi vida.

Oscar Valles Bonilla

Quiero dedicar este trabajo a mi padre Jaime Benavides que está en el cielo, a mi madre Fidelia Torres y a mi hermana, quienes con su cariño y sacrificio me han guiado y motivado a cumplir todas las metas propuestas hasta ahora. Así mismo dedico este trabajo a quienes de una u otra manera han colaborado para mi superación personal y profesional.

Jaime Benavides Torres

AGRADECIMIENTO

A mis padres y hermanos que gracias a su guía y apoyo he cumplido uno de los anhelos más grandes de mi vida, así mismo a quienes colaboraron en este proceso investigativo, al Ing. José Pérez, al Ing. Jorge Freire, que con sus conocimientos permitieron el desarrollo de esta investigación.

Oscar Valles Bonilla

En primer lugar a Dios por haberme creado con un propósito, a mis padres, a mi hermana que han sido un ejemplo de vida y de lucha, a todos mis profesores y amigos quienes han estado en todos los instantes de mi vida.

Jaime Benavides Torres

CONTENIDO

	Pág.
1. INTRODUCCIÓN	
1.1 Antecedentes.....	1
1.2 Justificación.....	1
1.3 Objetivos.....	2
1.3.1 <i>Objetivo general</i>	2
1.3.2 <i>Objetivos específicos</i> :	2
2. MARCO CONCEPTUAL	3
2.1 Materiales no ferrosos	3
2.1.1 <i>Clasificación de los metales no ferrosos</i>	3
2.2 Fundición en arena.....	12
2.2.1 <i>Moldes</i>	12
2.2.2 <i>Moldeo en verde</i>	13
2.2.3 <i>Moldeo en cáscara</i>	13
2.2.4 <i>Moldeo silicato CO₂</i>	13
2.2.5 <i>Pinturas refractarias</i>	14
2.3 Principios de funcionamiento de la fundición centrífuga	14
2.3.1 <i>Características</i>	14
2.3.2 <i>Fuerza centrífuga</i>	15
2.3.3 <i>Tipos de fundición centrífuga</i>	15
2.3.3.1 <i>Fundición centrífuga real</i>	15
2.3.3.2 <i>Fundición semicentrífuga</i>	16
2.3.3.3 <i>Fundición centrifugada</i>	16
2.4 Diseño conceptual del prototipo de la máquina centrifugadora vertical.....	16
2.4.1 <i>Descripción del procedimiento</i>	17
2.4.1.1 <i>Método de generación de ideas</i>	17
2.4.1.2 <i>Procedimientos para crear el diseño</i>	17
2.4.1.3 <i>Descripción del procedimiento</i>	18
2.5 Materiales y equipos para la construcción del prototipo de la máquina centrífuga	20
2.5.1 <i>Acero</i>	20
2.5.2 <i>Rodamientos</i>	22
2.5.2.1 <i>Rodamientos rígidos de bolas</i>	22
2.5.3 <i>Motores eléctricos</i>	24
2.5.4 <i>Reductor de velocidades</i>	25
2.5.5 <i>Rueda dentada</i>	28
2.5.6 <i>Cadenas de transmisión</i>	29
3. DISEÑO CONCEPTUAL DEL PROTOTIPO DE LA MÁQUINA CENTRIFUGADORA VERTICAL	
3.1 Método del diseño	31
3.1.1 <i>Método de generación de ideas</i>	31
3.1.1.1 <i>Características</i>	31
3.1.1.2 <i>Lluvia de ideas</i>	32
3.2 Procedimientos para crear el diseño	34
3.2.1 <i>Análisis morfológico</i>	34
3.2.1.1 <i>Bosquejo del prototipo</i>	34
3.3 Diseño detallado	35
3.3.1 <i>Coquilla o molde</i>	35

3.3.1.1	<i>Dimensionamiento</i>	36
3.3.1.2	<i>Selección del material del molde</i>	38
3.3.1.3	<i>Velocidad de rotación</i>	39
3.3.1.4	<i>Esfuerzos</i>	40
3.3.1.5	<i>Comportamiento térmico</i>	47
3.3.2	<i>Plato giratorio</i>	50
3.3.2.1	<i>Dimensionamiento</i>	51
3.3.2.2	<i>Selección del material</i>	52
3.3.3	<i>Manzana</i>	52
3.3.4	<i>Rodamientos</i>	52
3.3.4.1	<i>Selección del rodamiento</i>	53
3.3.5	<i>Sistema de transmisión</i>	53
3.3.5.1	<i>Determinación de la potencia</i>	53
3.3.5.2	<i>Transmisión por cadena</i>	57
3.3.5.3	<i>Eje de transmisión</i>	61
4.	CONSTRUCCIÓN DEL PROTOTIPO DE LA MÁQUINA CENTRIFUGADORA VERTICAL	
4.1	Construcción del prototipo	71
4.1.1	<i>Corte</i>	74
4.1.2	<i>Torneado</i>	75
4.1.3	<i>Soldadura</i>	75
4.2	Montaje de los elementos de la máquina centrifugadora vertical	77
4.2.1	<i>Montaje de la manzana a la estructura</i>	79
4.2.2	<i>Montaje del plato giratorio y eje</i>	80
4.2.3	<i>Montaje del motor y reductor de velocidades</i>	81
4.2.4	<i>Montaje de ruedas dentadas y cadena</i>	81
4.2.5	<i>Montaje del molde</i>	82
4.2.6	<i>Instalación de la transmisión por cadena</i>	82
4.2.7	<i>Conexiones eléctricas del motor</i>	83
4.3	Seguridad en la operación del prototipo	83
4.3.1	<i>Concepto de Seguridad Industrial</i>	83
4.3.2	<i>El puesto de trabajo</i>	84
4.3.3	<i>Condiciones y medio ambiente de trabajo</i>	84
4.3.4	<i>Factores esenciales para la producción</i>	84
4.3.5	<i>Registro de Accidentes</i>	85
4.3.6	<i>Seguridad en los procesos</i>	86
4.3.7	<i>Seguridad en el Taller de Fundición</i>	86
4.3.8	<i>Los equipos de protección personal</i>	87
5.	VERIFICACIÓN DEL FUNCIONAMIENTO DEL PROTOTIPO DE LA MÁQUINA CENTRIFUGADORA VERTICAL	
5.1	Pruebas de funcionamiento del prototipo de la máquina centrifugadora vertical	91
5.2	Prueba de funcionamiento del prototipo de la máquina centrifugadora vertical bajo carga	92
6.	COSTOS	
6.1	Costos directos	96
6.2	Costos indirectos	97
6.3	Costos totales	98
7.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	
7.1	Conclusiones	99
7.2	Recomendaciones	100

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

PLANOS

LISTA DE TABLAS

		Pág.
1	Los metales no ferrosos se pueden clasificar en tres grupos de acuerdo a su densidad.	4
2	Características del aluminio.....	8
3	Tabla morfológica para el diseño del tipo de la centrifugadora.....	33
4	Matriz de selección en relación a los objetivos.....	33
5	Propiedades del acero 1018.....	38
6	Frecuencia de rotación.....	39
7	Resistencia a la cedencia.....	47
8	Calor específico del aluminio.....	48
9	Numero de perno de acuerdo al diámetro del molde.....	51
10	Factores de servicio para transmisiones por cadena.....	57
11	Factor de confiabilidad.....	66
12	Componentes de la máquina.....	70
13	Procedimiento de construcción.....	73
14	Partes constitutivas de la centrifugadora vertical.....	79
15	Tiempos de llenado y enfriado.....	95
16	Costos directos.....	96
17	Costos indirectos.....	98
18	Costos totales.....	98

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
1 Aluminio	8
2 Tipos de rodamientos de bolas.....	23
3 Motor eléctrico.....	24
4 Reductor de velocidades	25
5 Relación de transmisión.....	28
6 Cadena de transmisión	29
7 Bosquejo de la máquina centrifugadora vertical.....	34
8 Diseño del molde	36
9 Dimensiones de la coquilla	38
10 Esfuerzo cortante	44
11 Unión de placa base o final.....	50
12 Dimensionamiento del plato giratorio.....	51
13 Unión del plato giratorio.....	51
14 Dimensionamiento de la manzana	52
15 Diagrama de cuerpo libre del eje	62
16 Diagrama de cargas y momento.....	63
17 Factores de superficie para el acero	64
18 Factor de tamaño.....	65
19 Eje de sección circular con cambio de sección sometido a flexión.	68
20 Índice de sensibilidad.....	69
21 Diagrama de proceso tipo Pert	74
22 Corte y esmerilado.	74
23 Torneado.	75
24 Soldadura.	76
25 Despiece de la máquina.	78
26 Manzana y rodamientos.	80
27 Plato giratorio, sujetador del molde y eje.	80
28 Motor y reductor de velocidades.....	81
29 Ruedas dentadas y cadenas	82
30 Molde o coquilla	82
31 Diagrama eléctrico de la placa del motor.....	83
32 Prueba I.....	92
33 Pirómetro de inmersión y horno de crisol.....	92
34 Prueba II.....	93
35 Prueba III.	94
36 Resultado de pruebas	95

SIMBOLOGÍA

F	Fuerza	N
m	Masa	
V	Velocidad	m/s
dm	Diámetro medio de la pieza	
Di	Diámetro interior del molde	
de	Diámetro exterior de la pieza	
α	Ángulo interno del molde	grados
r	Distancia del punto de acción al eje	
n	Frecuencia de rotación	rpm
Rm	Radio medio	
t	Espesor del molde	
Re	Radio externo del molde	
Ri	Radio interno del molde	
P	Presión	Pa
A	Área total del molde	
Vp	Volumen teórico de la pieza	
h	Altura de la pieza	
R	Radio de la pieza	
δ	densidad	kg/m ³
τ_t	Esfuerzo tangencial	Pa
τ_r	Esfuerzo radial	Pa
τ_l	Esfuerzo longitudinal	Pa
τ_d	Esfuerzo de diseño	Pa
S _y	Cedencia del material	Mpa
N	Factor de diseño	
Q	Calor del molde	kcal/min
K	Conductividad térmica	kcal/m.min.°C
T	Temperatura	°C
Ce	Calor específico	kcal/Kg°C
P	Potencia	W
W	Velocidad angular	rad/s
M	Torque	Nm
I	Momento de inercia	kg/m ²
Pd	Potencia de diseño	HP
Fs	Factor de servicio	
Pt	Potencia transmitida	HP
Z	Número de dientes	
C	Distancia entre centros	
L	Longitud de cadena	
d	Diámetro del eje	
Kf	Factor de concentración de esfuerzos	

LISTA DE ABREVIACIONES

NSK	Natural Studio Kit
SKF	Svenska Kullager Frabriken
ASTM	American Society for Testing and Material
AISI	American Iron and Steel Institute
SAE	Society of Automotive Engineers
RPM	Revoluciones Por Minuto
IPAC	Internacional Particle Accelerator Conference
SMAW	Shield Metal Arc Welding
EPP	Equipo de Protección Personal
UNE	Una Norma Española
OSHA	Occupational Safety and Health Administration
INEM	Instituto Nacional de Empleo (España)
HP	Horse Power

LISTA DE ANEXOS

- A** Capacidad en caballos de fuerza – cadena simple de rodillos
- B** Catálogo NTN de rodamientos de bola y de rodillos, pág. B5

RESUMEN

La construcción e implementación de un prototipo de máquina centrifugadora vertical para obtención de ejes cilíndricos de aluminio en el taller de fundición de la Facultad de Mecánica de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, tiene como finalidad mejorar el proceso de fundición en molde permanente, que permitirá obtener un eje cilíndrico de aluminio mejorando así la calidad en la fundición.

Con la ayuda de un soporte informático de diseño y modelo de mecanismos, se obtuvo los planos del prototipo de máquina centrifugadora vertical y las especificaciones técnicas de materiales para su construcción.

Para la construcción del prototipo de máquina se empleó los procesos de corte, torneado y soldadura como procesos de operaciones más importantes. El ensamblaje de los elementos se realizó colocando los rodamientos de bola en la manzana y fijando ésta a la estructura, se coloca el eje de transmisión y se suelda el plato giratorio, en él se instala la rueda dentada fijando al sistema de potencia a la estructura, se ubica la cadena instalada al reductor de velocidades; finalmente se coloca la coquilla en el plato giratorio. La máquina está construida de gran parte con piezas de propia elaboración debido a que no se las consigue en el mercado.

En el proceso de control y seguridad de elementos ensamblados se realiza la prueba de verificación del funcionamiento del prototipo de máquina, cumpliendo con los parámetros establecidos en las etapas de diseño, el acabado interno de la coquilla permite obtener ejes cilíndricos fáciles de mecanizar, el tiempo de solidificación superó las expectativas ya que se extrae la pieza en un periodo de tres minutos.

Se recomienda no exceder el tiempo de solidificación en la máquina para evitar daños y prolongar el tiempo de vida útil de cada uno de los elementos que la constituyen.

ABSTRACT

A prototype of vertical centrifugal machine that obtains cylindrical axis was built and implemented in the taller de melting of Mechanical Faculty of the Superior School of Chimborazo in order to better melting process in permanent mold and the obtain a cylindrical axis with higher quality melting.

Informatics support design and mechanisms model worked to obtain prototype plans of vertical centrifugal machine and the technical specifications of building materials.

Cutting, turning, and welting process were used to build this prototype machine. Element setting were performed by putting ball bearing in the apple and fixing this area to its structure. Transmission axis and the weld of turntable, on the gear wheel is installed fixing the potential system to the structure, the string installed to the Speed reduction gearbox is placed, and finally shell in the rotary dish is collocated. Machine is built by the means of pieces made by the researcher due to the lack of them in the market.

Machine prototype working verifications is performed and it accomplishes with all of the parameter established in the designing level, internal of shell that let it obtain cylindrical axis easy to mechanize, solidification time overcame expectation because the piece is extracted in three minutes.

It is recommended not to extend solidification time in order to avoid damages and extend shelf life time of every single element of it.

CAPÍTULO I

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes

A través de la historia los procedimientos o métodos de fundición han ido cambiando o evolucionando para producir elementos con mayor resistencia y calidad.

En la actualidad gracias a la ciencia y la tecnología los métodos de fundición nos permiten obtener productos con mayor resistencia y calidad, es por ello que las empresas buscan mejorar sus métodos de producción es decir disminuir los costos, minimizar el desperdicio de material, aumentar la producción, mayor calidad de los productos, generar seguridad en el área de trabajo y así ofrecer un producto de calidad para ser competitivos en el mercado.

Uno de los procesos más importantes en la industria metalúrgica del Ecuador es la fundición centrífuga o centrífuga, ya que ha ido sustituyendo a la fundición artesanal o fundición en moldes de arena, permitiendo así una mayor optimización de la materia prima al no necesitar de bebederos ni mazarotas ni molde de arena y disminuir el tiempo de enfriamiento de la fundición.

1.2 Justificación

Debido a la competitividad del mercado en la actualidad las empresas se han visto en la necesidad de implementar nuevos procesos que les permitan ser más eficiente y contar con mayor calidad en sus productos, lo cual ofrece la fundición centrífuga.

Es por ello que el presente trabajo de investigación, está enfocada en la construcción e implementación de un prototipo de una máquina centrifugadora vertical para obtener ejes cilíndricos de aluminio y así tener mayor conocimiento de los parámetros y características de este tipo de fundición.

1.3 Objetivos

1.3.1 *Objetivo general.* Construir e implementar un prototipo de una máquina centrifugadora vertical para la obtención de ejes cilíndricos de aluminio en el Taller de Fundición de la Facultad de Mecánica de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

1.3.2 *Objetivos específicos:*

Demostrar el principio de funcionamiento de la fundición centrífuga.

Realizar un análisis teórico de las partes que compondrán el prototipo de la máquina centrifugadora.

Construir el prototipo de la máquina centrifugadora.

Comprobar el funcionamiento del prototipo de la máquina centrifugadora.

Obtener ejes cilíndricos de aluminio mediante fundición centrífuga.

Realizar el estudio de costos de construcción.

CAPÍTULO II

2. MARCO CONCEPTUAL

2.1 Materiales no ferrosos

Comprende todos los metales a excepción del hierro. Su utilización no es tan masiva como los productos féreos (hierro, acero y fundición) pero tienen una gran importancia en la fabricación de gran cantidad de productos, por sus propiedades como:

- Elbajo peso específico.
- Laresistencia a la oxidación en condiciones ambientales normales.
- Lafácil manipulación y mecanizado.

Las aleaciones de productos no ferrosos tienen gran cantidad de aplicaciones:

- Monedas(fabricadas con aleaciones de cobre, níquel y aluminio).
- Filamentosde bombillas (de wolframio).
- Materialde soldadura de componentes electrónicos (estaño-plomo).
- Recubrimientos(cromo, níquel, cinc) (EcuRed, 2013).

2.1.1 *Clasificación de los metales no ferrosos.* En lo general, los metales no ferrosos son blandos y tienen poca resistencia mecánica. Para mejorar sus propiedades se realizan aleaciones con otros metales y se clasifican en tres grupos, materiales no ferrosos pesados, ligeros y ultraligeros (ver tabla1)

Los metales no ferrosos más utilizados son:

- Cobre (y sus aleaciones).
- Aluminio.
- Estaño, plomo.
- Cinc.

- Níquel.
- Cromo.
- Titanio.
- Magnesio.

Tabla 1. Los metales no ferrosos se pueden clasificar en tres grupos de acuerdo a su densidad.

Tipo	Características	Ejemplo De Metales No Ferrosos
Pesados	Su densidad es igual o mayor de 5 kg/dm ³	Estaño, cobre, cinc, plomo, cromo, níquel, wolframio y cobalto.
Ligeros	Su densidad está comprendida entre 2 y 5 kg/dm ³	Aluminio y titanio
Ultraligeros	Su densidad es menor de 2 kg/dm ³	Magnesio y berilio

Fuente: <http://www.slideshare.net/PabloVilanez/metalesnoferrosos-25339141>

Estaño. Es un metal plateado maleable, que no se oxida fácilmente resistente a la corrosión, bastante escaso en la corteza terrestre. Suele encontrarse concentrado en minas, aunque la riqueza suele ser bastante baja del orden del 0,02%.

El mineral de estaño más explotado es la casiterita SnO₂.

Propiedades y características del estaño

Propiedades

- Densidad: 7,28 kg/dm³.
- Punto de fusión: 231 °C.
- Resistividad: 0,115 W·mm²/m.
- Resistencia a la tracción: 5 kg/mm².
- Alargamiento: 40%.

Características. El estaño puro tiene un color muy brillante, a temperatura ambiente se oxida perdiendo el brillo exterior, es muy maleable y blando, y pueden obtenerse hojas de papel de estaño de algunas décimas de milímetro de espesor.

En caliente es frágil y quebradizo, por debajo de -18°C empieza a descomponerse y a convertirse en un polvo gris. A este proceso se le conoce como enfermedad o peste del estaño.

Cuando se dobla se oye un crujido denominado grito del estaño (MediaFire, 2012).

Cobre. En el año 5000 a.c., en Egipto se emplea con fines ornamentales, a comienzos del año 4000 a.c., se fabrican pequeños objetos: anillos, tijeras, agujas, dedos, etc. Para el año 3000 a.c., se forja el cobre (golpeándolo en frío para endurecerlo). Aparece el bronce. En el año 1500 a.c., aparece el latón. Con la aparición del hierro empieza a declinar el uso del cobre, en el siglo XVIII empieza la revolución industrial. Vuelve a adquirir un gran auge en la industria.

Propiedades

- Densidad: $8,90 \text{ kg/dm}^3$.
- Punto de fusión: 1083°C .
- Resistividad: $0,017 \text{ W}\cdot\text{mm}^2/\text{m}$.
- Resistencia a la tracción 18 kg/mm^2 .
- Alargamiento: 20%.

Características. Es muy dúctil y maleable, pueden formarse láminas hasta de $0,02 \text{ mm}$ de espesor, posee una alta conductividad eléctrica y térmica, oxidación superficial verde (MediaFire, 2012).

Cinc. De número atómico 30 y símbolo Zn, situado en el grupo 12 de la tabla periódica de los elementos químicos, es conocido desde la más remota antigüedad, pero no se consiguió aislarlo de otros elementos y por tanto para obtenerlo en estado puro se tuvo que esperar hasta el siglo XVII.

Los minerales más empleados en la extracción del cinc son:

- Blenda SZn 40 a 50% de cinc.
- Calamina $\text{SiO}_4\text{Zn}_2\text{-H}_2\text{O}$ menor del 40% de cinc.

Propiedades y características del cinc

Propiedades

- Densidad: 7,14 kg/dm³.
- Punto de fusión: 419°C.
- Resistividad: 0,057 W·mm²/m.

Resistencia a la tracción

- Piezas moldeadas: 3 kg/mm².
- Piezas forjadas: 20 kg/mm².
- Alargamiento: 20%.

Características fundamentales del cinc. Color blanco azulado, es muy resistente a la oxidación y corrosión en el aire y en el agua, pero poco resistente al ataque de ácidos y sales, tiene el mayor coeficiente de dilatación térmica de todos los metales, a temperatura ambiente es quebradizo, pero entre 100 y 150 °C es muy maleable (MediaFire, 2012).

Plomo. Se empieza a utilizar, aproximadamente, en el año 5000 a.c., adquiriendo gran importancia durante el periodo romano y a partir del siglo XIX, Sus especiales propiedades físicas han contribuido a que sea empleado en numerosos procesos industriales y actividades humanas.

Contienen plomo los minerales

- Galena SPb (el más empleado).

- Cerusita CO_3Pb .
- Anglesita SO_4Pb (MediaFire, 2012).

Propiedades del plomo

- Densidad: $11,34 \text{ kg/dm}^3$.
- Punto de fusión: $327 \text{ }^\circ\text{C}$.
- Resistividad; $0,22 \text{ W}\cdot\text{mm}^2/\text{m}$.
- Resistencia a la tracción: 2 kg/mm^2 .
- Alargamiento: 50% (MediaFire, 2012).

Características

- De color grisáceo-blanco, brillante cuando está recién cortado.
- Muy blando y maleable.
- Buen conductor térmico y eléctrico.
- Se oxida con facilidad, formando una capa de carbonato básico que lo auto protege.
- Reacciona con los ácidos lentamente o formando capas protectoras (oxidación superficial).
- Resiste bien a los ácidos clorhídrico y sulfúrico, pero es atacado por el ácido nítrico y el vapor de azufre.
- Forma compuestos solubles venenosos $\text{Pb}(\text{OH})_2$ (MediaFire, 2012).

Aluminio.El aluminio (Al), es el elemento metálico más abundante que está presente en la corteza terrestre y dentro del grupo de los metales no féreos, es el material más ampliamente utilizado en la industria como en otras aplicaciones de la vida cotidiana.

Su ligereza ($2,70 \text{ g/cm}^3$), su buen comportamiento en cuanto a resistencia mecánica de muchas de sus aleaciones, su alta conductividad térmica y eléctrica, su durabilidad (el aluminio es estable al aire) y resistencia a la corrosión (con un correcto tratamiento superficial es resistente tanto al agua de mar, como a muchas soluciones acuosas y otros agentes químicos), hacen de este material ideal para innumerables soluciones, tanto

estructurales, como decorativas o de otra índole, es un material no tóxico, ampliamente utilizado en la preparación y almacenamiento de los alimentos.

Por último, una característica que está tomando fuerza en nuestros días es la buena disponibilidad al reciclaje que presenta el aluminio una vez finalizado su vida útil.

Efectivamente, el empleo de material reciclado en las factorías para la producción de nuevas aleaciones de aluminio, permiten reducir enormemente la energía necesaria (hasta un 90%) que si la comparamos con la energía que haría falta para transformar para su uso el material de aluminio extraído directamente de la naturaleza (Ingemecánica, 2014).

La metalurgia del metal ligero aluminio está condicionada por su especial carácter electroquímico.

Figura 1. Aluminio



Fuente: <http://www.metalesdiaz.com/>

Características

Tabla 2. Características del aluminio

Símbolo químico	Al
Número atómico	13
Grupo	13
Periodo	3
Aspecto	plateado
Densidad	2698.4 kg/m ³
Masa atómica	26.9815386 u

Radio atómico	118
---------------	-----

Tabla 2. (Continuación)

Electrones por capa	2, 8, 3
Estados de oxidación	3
Óxido	anfótero
Estructura cristalina	cúbica centrada en las caras
Estado	sólido
Punto de fusión	933.47 °K
Punto de ebullición	2792 °K
Calor de fusión	10.79 kJ/mol
Presión de vapor	$2,42 \times 10^{-6}$ Pa a 577 °K
Volumen molar	$10,00 \times 10^{-6}$ m ³ /mol
Electronegatividad	1,61
Calor específico	900 J/(K·kg)
Conductividad eléctrica	$37,7 \times 10^6$ S/m
Conductividad térmica	237 W/(K·m)

Fuente: <http://elementos.org.es/aluminio>

Propiedades. El aluminio es un metal muy sutil con un peso específico de 2700 kg/m³, que es un tercio de la del acero.

Ductilidad. El aluminio es muy dúctil y tiene bajo punto de fusión (660 °C), fluyendo fácilmente en estado fundido, por lo que se puede procesar en un gran número de maneras tanto en un estado frío como caliente.

Reflectividad. El aluminio es reflectivo en la luz y con la radiación solar, más que ningún otro metal con características similares.

La reflectividad varía de acuerdo al grado de energía o las condiciones superficiales del metal, siendo la más alta del 75% en un rango de rayos ultra violeta, 85% en el rango de luz visible y sobre un máximo del 95% en el rango de radiación infrarroja.

Resistencia a la corrosión. El aluminio por naturaleza genera una capa de óxido que lo hace muy resistente a la corrosión. Los tratamientos superficiales pueden mejorar aún más esta propiedad.

Resulta especialmente útil para aquellos productos que requieren de protección y conservación.

Reciclabilidad. La reutilización de aluminio requiere muy poca energía, y la pérdida de metal en el proceso de re-fusión es inferior al 3%. Sólo alrededor del 5% de la energía que es requerida para producir el metal primario inicialmente es necesaria en el proceso de reciclaje. (ÁLVAREZ, 2002).

Aplicaciones

Electricidad y comunicación. El aluminio ha ido reemplazando progresivamente al cobre desde la década de los 50 en las líneas de transmisión de alto voltaje y actualmente es una de las formas más económicas de transportar electricidad, además de que puede hacerlo más eficientemente que el cobre, actualmente se usan conductores de aluminio para transmitir electricidad a 700.000 voltios o más.

Por otra parte, el aluminio también está presente en las antenas para televisores y satélites.

Transporte. Durante la última década la utilización de aluminio en la industria automovilística ha aumentado de forma constante y la industria del aluminio está dedicando importantes recursos para aumentar su participación en este sector.

Desde que se fabricara el primer aeroplano, el aluminio ha formado parte importante en su construcción y ha reemplazado a materiales que se utilizaban en sus inicios como la madera y el acero.

Edificación y construcción. En España y otros países mediterráneos, en el sector de la construcción, el uso del aluminio es mayoritario en comparación con otros metales. La demanda ha crecido de manera considerable a lo largo de los últimos 50 años y actualmente es utilizado en estructuras de ventanas, puertas y en otras estructuras como cubiertas para grandes superficies y estadios como el de Francia en París y el nuevo parlamento europeo en Bruselas. Por otra parte, cada vez más, diseñadores, arquitectos y artistas utilizan el aluminio con fines ornamentales y decorativos como por ejemplo

dumia, una cúpula realizada enteramente de aluminio y que mide más de cinco metros de altura y 12 de diámetro, situada en la plaza Real de Torino, o la torre de comunicaciones de Shanghai.

Envasado. En este sector, las aplicaciones son múltiples y abarcan desde la fabricación de latas, el papel de envolver, la capa intermedia de envases de cartón (tetra brick) hasta láminas para cerrar yogures, medicamentos.

Otros usos. En la industria química el aluminio y sus aleaciones se utilizan para fabricar tubos, recipientes y aparatos. Además, no hay que olvidar la presencia en nuestra vida cotidiana del papel de aluminio de 0,018 cm. de espesor, que protege los alimentos y otros productos perecederos, el aluminio se utiliza también en reactores nucleares a baja temperatura porque absorbe relativamente pocos neutrones.

La resistencia a la corrosión al agua del mar del aluminio también lo hace útil para fabricar cascos de barco y otros mecanismos acuáticos.

Reciclado. Cualquier producto de aluminio puede ser reciclado infinitas veces sin perder sus propiedades. Gracias al reciclado del aluminio el material puede ser reutilizado tantas veces como sea necesario y con óptimas cualidades.

El ciclo del reciclado empieza justo después de su producción ya que los recortes y restos de este proceso industrial se recuperan y reciclan directamente. En el caso de los productos adquiridos por los consumidores el ciclo del reciclado se inicia al final de su vida útil cuando a través de diversos canales llega a la planta de reciclado. Aquí, el primer paso es separar el aluminio de otros metales y elementos que puedan contaminarlo mediante diversos métodos, manualmente, separadores magnéticos, separadores por corrientes de Foucault.

Una vez eliminadas todas las impurezas el aluminio, éste es prensado, embalado y enviado a fundición.

Posteriormente se traslada a plantas específicas para su refabricación y finalmente, el fundidor o refinador lo convierte en lingotes, tochos, productos de desoxidación, etc. que serán utilizados para crear nuevos productos destinados al consumo humano.

La duración del ciclo de vida varía de acuerdo a cada producto. Por ejemplo, en el caso de las latas de aluminio utilizadas para envasar bebidas, la duración es de 45 días aproximadamente, en cambio, la del aluminio utilizado en cables para el sector eléctrico es de 40 años.

Sea cual sea el fin del reciclado es indudable los beneficios ambientales y económicos que supone su recuperación y reutilización. (ARPAL, 2013).

2.2 Fundición en arena

La fundición en arena es el proceso más utilizado en la industria de la fundición, la producción por medio de este método representa la mayor parte del tonelaje total de fundición. Casi todas las aleaciones pueden fundirse en arena, de hecho, es uno de los pocos procesos que pueden usarse para metales con altas temperaturas de fusión, como son el acero, el níquel y el titanio. Su versatilidad permite fundir partes muy pequeñas o muy grandes cantidades de producción que van desde una pieza a millones de éstas.

La fundición en arena consiste en vaciar el metal fundido a un molde de arena, dejarlo solidificar y romper después el molde para remover la fundición. Posteriormente, la fundición pasa por un proceso de limpieza e inspección.

2.2.1 Moldes. La fundición en arena requiere un patrón o modelo al tamaño de la parte, ligeramente agrandado, tomando en consideración la contracción y las tolerancias para el maquinado de la pieza final. Los materiales que se usan para hacer estos modelos son madera, resinas o metales.

El más simple está hecho de una pieza, llamado modelo sólido, que tiene la misma forma de la fundición y los ajustes en tamaño por contracción y maquinado. Su manufactura es fácil, pero la complicación surge cuando se utiliza para hacer el molde de arena.

Determinar la localización del plano de separación entre las dos mitades del molde e incorporar el sistema de vaciado y el vertedero de colada para un modelo sólido, puede

ser un problema que se dejará al juicio y habilidad del operario del taller de fundición, por tanto, los modelos sólidos se usan solamente en producciones de muy baja cantidad.

2.2.2 Moldeo en verde. El molde es una cavidad que tiene la forma geométrica de la pieza que se va a fundir. La arena de fundición es sílice o sílice mezclada con otros minerales.

Esta arena debe tener buenas propiedades refractarias, expresadas como la capacidad de resistir altas temperaturas sin fundirse o degradarse, otras características importantes son: el tamaño del grano, la distribución de tamaños del grano en la mezcla y la forma de los granos.

Los granos pequeños proporcionan mejor acabado superficial en la fundición, pero los granos grandes son más permeables, para que los gases escapen durante el vaciado, los moldes hechos de granos irregulares tienden a ser más fuertes que los moldes de granos redondos debido al entrelazado de los granos, pero esto tiende a restringir la permeabilidad.

Los moldes de arena verde se hacen de una mezcla de arena, bentonita y agua, el término "verde" se refiere al hecho de que el molde contiene humedad al momento del vaciado, los moldes de arena verde tienen suficiente resistencia en la mayoría de sus aplicaciones, así como buena refractabilidad, permeabilidad y reutilización.

2.2.3 Moldeo en cáscara. El moldeo en cáscara, se lleva a cabo al poner en contacto arena revestida con resina "arena Shell" con el modelo que previamente se calienta a una temperatura de 250°C. La resina que lleva la arena, al quedar en contacto con la placa modelo caliente, va a aglomerar a la arena alrededor del modelo, quedando un molde en forma de cáscara que se separa del modelo.

En este proceso, los modelos deben ser buenos conductores del calor, resistir los cambios de temperatura, por lo que deben ser de metal "hierro o acero".

2.2.4 Moldeo silicato CO₂. Es un moldeo que trata de endurecer moldes y corazones "machos" sin necesidad de aportes de calor. Se emplean arenas sílices, siendo el aglomerante el silicato sódico hidratado. Esta reacción da como resultado un carbonato

de sodio y un gel de sílice, que es el elemento fundamental como aglutinante de la arena y las cajas utilizadas pueden ser los mismos que para el moldeo en arena en verde.

2.2.5 Pinturas refractarias. La principal función de un recubrimiento refractario para moldes y corazones es la de presentar una película fina, homogénea, refractaria, lubricante y resistente a la penetración del metal fundido para producir piezas con un buen a excelente acabado superficial.

La industria metal-mecánica exige que la calidad y las piezas de fundición de cualquier metal o aleación reflejen una copia fiel del modelo requerido.

2.3 Principios de funcionamiento de la fundición centrífuga

La fundición centrífuga consiste en un proceso de hacer girar el molde mientras se solidifica el metal, utilizando así la fuerza centrífuga para acomodar el metal fundido en el molde.

Se obtienen mayores detalles sobre la superficie de la pieza y la estructura densa del metal adquiere propiedades físicas superiores, las piezas de forma simétricas se prestan particularmente para este método, aun cuando se pueden producir otros muchos tipos de piezas fundidas.

Mediante la fundición centrífuga se obtienen piezas más económicas que por otros métodos. Las piezas tienen una estructura de metal densa con todo y las impurezas que van de la parte posterior al centro de la pieza pero que frecuentemente se maquinan para obtener otros productos.

Por razón de la presión extrema del metal sobre el metal, se pueden lograr piezas de secciones delgadas también como en la fundición estática. (ESPE, 2014).

2.3.1 Características. Las características de la fundición centrífuga dependen de varios parámetros que deben controlarse para tener una producción uniforme. Los principales factores son:

- La temperatura de colada.
- La composición del material a utilizar.
- El material del molde.

2.3.2 Fuerza centrífuga. No es una fuerza propiamente como tal, sino que es producida por la inercia de los cuerpos al moverse en torno a un eje, pues estos tienden a seguir una trayectoria tangencial a la curva que describen.

Esta fuerza aumenta con el radio de giro y con la masa del cuerpo, siendo la siguiente ecuación la que los relacione:

$$F = \frac{mV^2}{R} \quad (1)$$

Dónde

F: fuerza (N).

m: masa (kg).

V: velocidad (m/s).

R: radio interior del molde (m).

2.3.3 Tipos de fundición centrífuga. Existen tres tipos de fundición centrífuga:

- Fundición centrífuga real.
- Fundición semicentrífuga.
- Centrifugado.

2.3.3.1 Fundición centrífuga real. Este procedimiento es utilizado para la fabricación de tubos sin costura, camisas y objetos simétricos. Los moldes son llenados de material fundido de manera uniforme, para luego girar el molde sobre su eje de rotación.

La forma exterior de la fundición puede ser redonda, octagonal, hexagonal o cualquier otra. Sin embargo, la forma interior de la fundición es perfectamente redonda, al menos teóricamente, debido a la simetría radial de las fuerzas en juego.

En la fundición centrífuga vertical el efecto de la gravedad que actúa en el metal líquido causa que la pared de la fundición sea más gruesa en la base que en la parte superior. El perfil interior de la fundición tomará una forma parabólica. La diferencia entre el radio de la parte superior y del fondo se relaciona con la velocidad de rotación como sigue.

2.3.3.2 Fundición semicentrífuga. En este método, el material fundido se hace llegar a los extremos del molde por la fuerza centrífuga que se genera al hacerlo girar sobre su eje de rotación.

Los extremos se llenan de material fundido con buena densidad y uniformidad. El centro del molde tiene poco material o de poca densidad, por lo general, el centro en este tipo de sistemas de fundición es maquinado posteriormente. La velocidad de rotación se ajusta generalmente para un factor-G alrededor de 15, y los moldes se diseñan con mazarotas que alimenten metal fundido desde el centro.

Se usan frecuentemente moldes consumibles o desechables en la fundición semicentrífuga.

2.3.3.3 Fundición centrifugada. Es un sistema donde por medio de un tallo se hace llegar el metal fundido a racimos de piezas colocadas simétricamente en la periferia. Al hacer girar el sistema, se genera una fuerza centrífuga que es utilizada para aumentar la uniformidad del metal que llena las cavidades de los moldes.

Las propiedades de las piezas fundidas varían en función de la distancia al eje de rotación. El proceso se usa para partes pequeñas, la simetría radial de la parte no es un requerimiento como en otros dos métodos de fundición centrífuga (REBOLLEDO, 2008).

2.4 Diseño conceptual del prototipo de la máquina centrifugadora vertical

Quezada David menciona que el diseño conceptual es la fase donde se establece claramente la necesidad que se está presentando, y se genera las diferentes alternativas de solución, a partir de la necesidad planteada, se dan las especificaciones requeridas y deseadas propuestas, en base a los requerimientos del usuario y con las recomendaciones del diseñador.

Se entiende por especificación requerida, aquella sin la cual el diseño solicitado pierde su objetivo. El diseño puede ser un nuevo invento que sorprenda al cliente, una

respuesta directa a una necesidad de mercado conocida o un incremento en el desempeño competitivo de un producto (QUEZADA, 2013).

2.4.1 *Descripción del procedimiento.*

2.4.1.1 *Método de generación de ideas.*

Creación de la idea. Cada producto nuevo es resultado de una idea y cuanto más numerosas sean las ideas generadas, más probabilidades habrán de seleccionar lo mejor.

Es importante adoptar sistemas para recolectar ideas del medio para la creación del diseño de la máquina, se realizará de la siguiente manera:

- Empezar una búsqueda activa en el medio para descubrir ideas útiles acerca del producto.
- Transmitir las ideas recolectadas a los asesores para informarles y recibir de ellos confirmación y más ideas.

2.4.1.2 *Procedimientos para crear el diseño.* La primera decisión que se debe tomar a la hora de diseñar el producto es el diseño del producto que se va a fabricar (MIRANDA, 2010).

Son las diferentes etapas que suceden desde el planteamiento del problema hasta la solución del mismo.

Análisis morfológico. Consiste en un análisis estructural del producto; se separan todas las dimensiones más importantes de un problema y después se estudian todas las relaciones existentes entre ellas considerando cómo se va a desarrollar el producto hasta su elaboración “especificación prescriptiva de procedimiento, de desempeño y funcionales”.

Lluvia de ideas. Los encargados de llevar a cabo esta técnica tienen que estimular la creación de ideas en reuniones de comité. Deben dar a conocer sus propias experiencias para que la gente, al escucharlas generen sus propias alternativas para la solución del problema planteado, o también expresando otras ideas. A esta técnica se le conoce también como "creatividad operativa".

Selección de ideas o tamizado. Se deberá realizar la clasificación de las diversas propuestas por orden de categorías, eligiendo el conjunto más atractivo posible dentro de los recursos. En este punto debe procurarse no caer en dos tipos de errores: omisión, es decir desechar una idea que podría ser útil, y comisión que es desarrollar y comercializar una idea que no vale la pena.

Desarrollo del producto. En esta cuarta etapa ya puede vislumbrarse la factibilidad de convertir el proyecto en un producto tangible, para tal efecto se desarrolla un prototipo o modelo que pueda elaborarse según las especificaciones establecidas.

Prueba. En esta etapa se ensaya por primera vez el producto en su desempeño, cuya información represente las reacciones del consumidor. Es necesario también realizar una investigación formal del producto, ya que es importante que antes de iniciar la prueba los responsables de ésta tomen en cuenta los siguientes puntos:

- ¿Qué escuelas se tomarán en cuenta?
- ¿Qué duración debe tener la prueba?
- ¿Qué tipo de información debe obtenerse?
- ¿Qué se hará con la información recopilada? (Monografías, 2014)

2.4.1.3 Descripción del procedimiento.

Bosquejo a mano alzada. También llamado esbozo o borrador, es un dibujo realizado de forma esquemática y sin preocuparse de los detalles o terminaciones para representar ideas, lugares y objetos. Puede ser un primer apunte del objeto ideado que aún no está totalmente definido. Se pueden utilizar tanto técnicas de perspectiva como vistas ortogonales. Es un dibujo rápido de lo que luego llegará a ser un dibujo definido.

Tabla morfológica. La matriz morfológica es una serie de cuadros en donde se comparan opciones de diseño para cada una de las diferentes partes del objeto diseñado.

En este cuadro se analizan las ventajas y desventajas de cada una de las opciones y se selecciona la mejor de acuerdo a los criterios analizados en la misma.

Diseño preliminar. Es una etapa de análisis de las alternativas de diseño y definición basado en tres ejes principales, rendimiento coste y calidad es decir analiza un gran número de factores tales como: componentes, tamaño y forma, tiempo, materiales a emplear, costo de producción.

Es en esta etapa donde una vez analizado todos los factores y las diferentes alternativas se procede a seleccionar la que más se ajusta a los requerimientos (QUEZADA, 2013)

Método de selección

Matriz de selección. Se debe elaborar un matriz de evaluación en donde se encuentren todas las opciones, antes mencionadas de las matrices morfológicas, en esta matriz se comparan todas las opciones de diseño que se contemplaron, y de acuerdo a diversos criterios se les va asignando un valor a cada una de las opciones, dichos valores conceden un puntaje final a cada una de estas, y este puntaje final nos deja ver claramente que opción conviene más para el diseño.

Para esta matriz se toman en cuenta detalles de fabricación, seguridad, modificaciones, mantenimiento, cambio de partes, costos, vibraciones, ruidos, tamaño, peso, resistencia, durabilidad y la utilización de piezas estándar fáciles de encontrar en el mercado.

Dentro de la matriz, cada opción tendrá una variable y un valor determinado el cual se proporcionará según el grado de importancia del elemento.

Prototipo. Es aquel que una vez encontrado la alternativa más adecuada, es creado con la finalidad de realizar pruebas en situaciones reales o explorar su uso, creando así un proceso de diseño de iteración que genera calidad.

Los prototipos son útiles para comunicar, discutir y definir ideas entre los diseñadores y las partes responsables, lo habitual es que un prototipo se emplee a modo de prueba antes de proceder a realizarlos en serie.

La finalidad de un prototipo es que sus desarrolladores puedan advertir potenciales fallas, en el funcionamiento y descubrir falencias.

Ventajas y desventajas. Una vez elaborado el prototipo, servirá para realizar las pruebas respectivas, esto nos ayudará a conocer las ventajas y desventajas que presenta a pesar de haber sido la mejor alternativa.

Dimensionamiento y selección del material. Ya conocido los resultados de las diferentes pruebas y haber realizado las correcciones correspondientes es necesario realizar el dimensionamiento y la elección del material más adecuado de cada una de las partes, se lo deberá realizar teniendo en cuenta factores como: ergonomía, seguridad, costos, disponibilidad.

Planos de ingeniería. Son los que servirán como guía para la fabricación del prototipo seleccionado, en ellos se reflejarán dimensiones, tolerancias, detalles, etc., de cada una de las partes del prototipo, para de esta forma proporcionar toda la información requerida por el constructor.

Manual de operación y mantenimiento. Culminado la construcción del prototipo y comprobado su funcionamiento, es necesario elaborar un manual de operación y mantenimiento, el cuál contendrá el procedimiento para la puesta en marcha y operación.

Además este manual debe contener las instrucciones para el mantenimiento del prototipo y de esta manera conservarlo y evitar su deterioro (QUEZADA, 2013).

2.5 Materiales y equipos para la construcción del prototipo de la máquina centrífuga

2.5.1 Acero. Es una aleación de hierro y carbono, máximo 2.11% de carbono, al cual se le adicionan varios elementos de aleación, los cuales le confieren propiedades mecánicas específicas para su diferente utilización en la industria. Los principales elementos de aleación son: cromo, tungsteno, manganeso, níquel, vanadio, cobalto, molibdeno, cobre, azufre y fósforo. Los productos ferrosos con más de 2.11% de carbono se denominan fundiciones de hierro (VALENCIA, 1992).

El acero se obtiene sometiendo el arrabio a un proceso de descarburación y eliminación de impurezas llamado afino.

- Según el contenido de carbono. Se clasifica de dos formas como hipoeutectoides, eutectoides, hipereutectoides, o bien de bajo carbono, medio carbono y alto carbono.
- Según su utilización. Generalmente se refiere al uso final que se le dará al acero como acero para máquinas, para resortes, para calderas, estructural o acero para herramientas.
- Según el método de fabricación o manufactura. Este da lugar a aceros Bessemer, de hogar abierto, de horno eléctrico, de crisol, acero al oxígeno.
- Según su composición química. Este método indica por un sistema numérico el contenido aproximado de los elementos importantes en el acero.

Según su utilización. Desde el punto de las aplicaciones los aceros, tanto comunes como especiales, pueden ser clasificados del modo siguiente:

- Aceros de fácil denominación en frío.
- Aceros para tratamiento termoquímicos.
- Aceros estructurales de alta resistencia mecánica.
- Aceros para herramientas y matrices.
- Aceros inoxidable.
- Aceros para otras aplicaciones.

Pezzano manifiesta que los aceros comunes son más versátiles que los especiales, son aceros al carbono sin otros elementos aleados que pueden influir en sus propiedades por su reducido porcentaje. Su origen es casi siempre el horno Siemens Martin, no excluyendo el convertidor ni el horno eléctrico, por cuanto el método de fabricación depende de los factores determinantes en el proceso.

Se emplean en construcciones mecánicas de todo tipo, laminados o barras y alambres de secciones comerciales.

También se emplean para construcción de máquinas, para todas aquellas piezas en que se requiere material resistente de fragilidad nula que pueda ser forjado y resistir esfuerzos complejos. Se denomina acero para máquinas, contiene 0,10 hasta 0,80% de C.

Según su dureza y resistencia se lo clasifica en blando, semiduro y duro. (PEZZANO, 1962)

2.5.2 Rodamientos

Diseño y clasificación. En general, los rodamientos están formados por dos anillos, los elementos rodantes y una jaula, se clasifican en rodamientos radiales o rodamientos de apoyo dependiendo de la dirección de la carga principal. Además, dependiendo del tipo de elementos rodantes, se clasifican en rodamientos de bolas o de rodillos y se subclasifican más en función de sus diferencias en diseño o uso específico.

Características de los rodamientos. En comparación con los casquillos, los rodamientos presentan una serie de ventajas:

- Su par inicial o fricción es bajo y la diferencia entre el par inicial y el de funcionamiento es muy pequeña.
- Con el avance de la estandarización a nivel mundial, los rodamientos se pueden encontrar en cualquier parte y son fácilmente intercambiables.
- El mantenimiento, la sustitución y la inspección resultan sencillos a consecuencia de la simplicidad de la estructura de montaje.
- La mayor parte de rodamientos pueden soportar cargas tanto radiales como axiales de forma simultánea o independiente.
- Los rodamientos se pueden utilizar en una amplia gama de temperaturas.
- Los rodamientos se pueden precargar para conseguir holguras negativas y conseguir una mayor rigidez (NSK, 2011).

2.5.2.1 Rodamientos rígidos de bolas. Los rodamientos rígidos de bolas se usan en muchísimas aplicaciones. Consecuentemente, se suministran en varios formatos y tamaños (SKF, 2013).

Cada tipo de rodamientos muestran propiedades características, que dependen de su diseño y que lo hace más o menos apropiado para una aplicación dada, Son usados en una gran variedad de aplicaciones.

Los rodamientos de bolas de ranura profunda y una sola hilera son el tipo de rodamientos más utilizados, su uso está ampliamente difundido. Las pistas de rodadura en los anillos interior y exterior cuentan con arcos circulares de radio ligeramente superior al de las bolas. Además de las cargas radiales, también pueden soportar cargas axiales en cualquier dirección. Debido a su bajo par, son altamente adecuados en aplicaciones en que se necesitan altas velocidades y bajas pérdidas de potencia.

Además de los rodamientos de tipo abierto, este tipo de rodamientos suelen contar con blindaje de acero o con sellados de goma instalados en una o ambas caras y están pre lubricados con grasa.

A veces suelen contar con anillos elásticos en su diámetro exterior. Para las jaulas, suelen usarse las de acero estampado (NSK, 2011).

La gama estándar SKF incluye los siguientes tipos:

- Rodamientos rígidos de una hilera de bolas.
- Rodamientos rígidos de una hilera de bolas con escotes de llenado.
- Rodamientos rígidos de una hilera de bolas de acero inoxidable.
- Rodamientos rígidos de dos hileras de bolas.
- Rodamientos rígidos de una hilera de bolas híbridos.
- Rodamientos rígidos de una hilera de bolas para altas temperaturas.
- Rodillos de leva.
- Rodamientos de bolas poliméricos (SKF, 2013)

Figura 2. Tipos de rodamientos de bolas



Fuente: Catálogo de rodamientos NTN, pág.B-43

2.5.3 Motores eléctricos. El motor eléctrico es la máquina destinada a transformar energía eléctrica en energía mecánica.

Figura 3. Motor eléctrico



Fuente: <http://www.pskmotoresybombas.com/Motores%20Trifasicos.htm>

El motor de inducción es el más usado de todos los tipos de motores, ya que combina las ventajas de la utilización de energía eléctrica - bajo costo, facilidad de transporte, limpieza, simplicidad de comando - con su construcción simple y su gran versatilidad de adaptación a las cargas de los más diversos tipos y mejores rendimientos. Los tipos más comunes de motores eléctricos son: motores de corriente continua y motores de corriente alterna.

Motores de corriente continúa

Son motores de costo más elevado y, además de eso, precisan una fuente de corriente continua, o un dispositivo que convierta la corriente alterna común en continua. Pueden funcionar con velocidad ajustable, entre amplios límites y se prestan a controles de gran flexibilidad y precisión. Por eso, su uso es restricto a casos especiales en que estas exigencias compensan el costo mucho más alto de la instalación y del mantenimiento.

Motores de corriente alterna

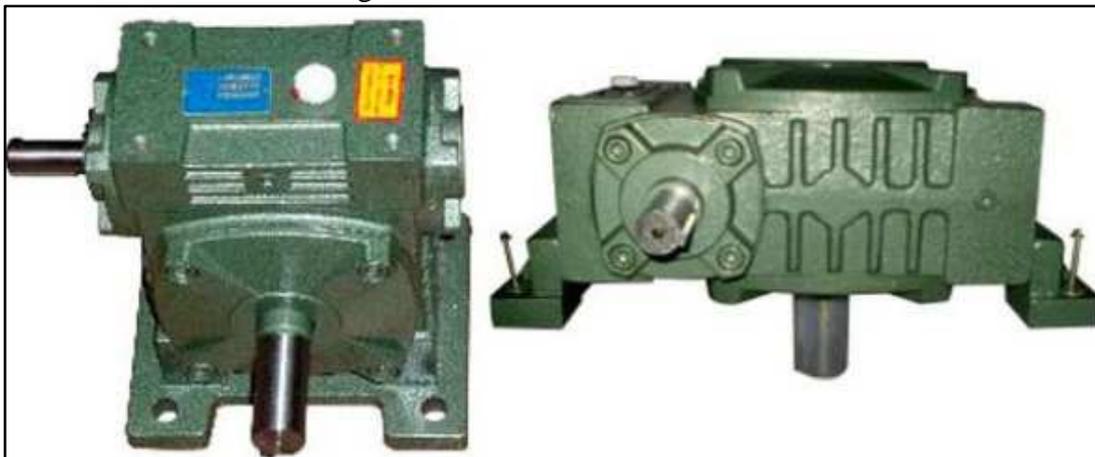
Son los más utilizados, porque la distribución de energía eléctrica es hecha normalmente en corriente alterna. Los principales tipos son:

Motor síncrono. Funciona con velocidad fija, o sea, sin interferencia del deslizamiento; utilizado normalmente para grandes potencias (debido a su alto costo en tamaños menores).

Motor de inducción. Funciona normalmente con una velocidad constante, que varía ligeramente con la carga mecánica aplicada al eje. Debido a su gran simplicidad, robustez y bajo costo, es el motor más utilizado de todos, siendo adecuado para casi todos los tipos de máquinas accionadas, encontradas en la práctica. Actualmente es posible el control de la velocidad de los motores de inducción con el auxilio de convertidores de frecuencia.(WEG, 2009)

2.5.4 Reductor de velocidades. Los reductores son diseñados a base de engranajes, mecanismos circulares y dentados con geometrías especiales de acuerdo con su tamaño y la función en cada motor.

Figura 4. Reductor de velocidades



Fuente: <http://megachainperu.wordpress.com/category/reductores-de-velocidad/>

Sin la correcta fabricación de los motorreductores, las máquinas pueden presentar fallas y deficiencias en su funcionamiento. La presencia de ruidos y recalentamientos pueden ser aspectos que dependan de estos mecanismos, de allí la importancia del control de calidad.

Reductor de velocidad. Los reductores o motorreductores son apropiados para el accionamiento de toda clase de máquinas y aparatos de uso industrial, que necesitan reducir su velocidad en una forma segura y eficiente.

Las transmisiones de fuerza por correa, cadena o trenes de engranajes que aún se usan para la reducción de velocidad presentan ciertos inconvenientes.

Al emplear reductores o motorreductores se obtiene una serie de beneficios sobre estas otras formas de reducción. Algunos de estos beneficios son:

- Una regularidad perfecta tanto en la velocidad como en la potencia transmitida.
- Una mayor eficiencia en la transmisión de la potencia suministrada por el motor.
- Mayor seguridad en la transmisión, reduciendo los costos en el mantenimiento.
- Menor espacio requerido y mayor rigidez en el montaje.
- Menor tiempo requerido para su instalación.

Los motorreductores se suministran normalmente acoplando a la unidad reductora un motor eléctrico normalizado asíncrono tipo jaula de ardilla, totalmente cerrado y refrigerado por ventilador para conectar a redes trifásicas de 220/440 voltios y 60 Hz.

Normalmente los motores empleados responden a la clase de protección IP-44 Según DIN 40050. Bajo pedido se puede mejorar la clase de protección en los motores y unidades de reducción.

Características del reductor o motorreductor

- Potencia, en HP, de entrada y de salida.
- Velocidad, en RPM, de entrada y de salida.
- PAR o torque, a la salida del mismo, en kg/m.
- Relación de reducción: índice que detalla la relación entre las RPM de entrada y salida.

Características del trabajo a realizar

- Tipo de máquina motriz.
- Tipos de acoplamiento entre máquina motriz, reductor y salida de carga.
- Carga: uniforme, discontinua, con choque, con embrague.

- Duración de servicio: horas/día.
- N° de Arranques/hora.

Guía para la lección del tamaño de un reductor o motorreductor

Para seleccionar adecuadamente una unidad de reducción se debe tener en cuenta las diferentes características para su correcto desempeño en el lugar de trabajo la siguiente información básica:

Características de operación

- Potencia en HP tanto de entrada como de salida.
- Velocidad expresada en RPM de entrada como de salida.
- Torque o par máximo a la salida en kg-m.
- Relación de reducción.

Características del trabajo a realizar

- Tipo de máquina motrizmotor eléctrico.
- Tipo de acople entre máquina motriz y reductor.
- Tipo de carga uniforme, con choque, continua, discontinua.
- Duración de servicio horas/día.
- Arranques por hora, inversión de marcha.

Condiciones del ambiente

- Humedad
- Temperatura

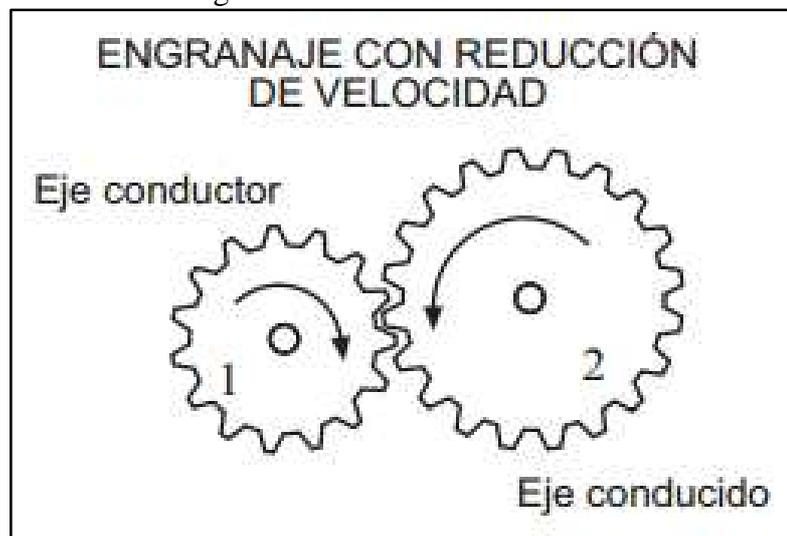
Ejecución del equipo

- Ejes a 180°, ó, 90°.
- Eje de salida horizontal.

- Eje de salida vertical.(VILLARROEL, 2010)

2.5.5 Rueda dentada. Una rueda dentada es un mecanismo de forma circular que transmite movimiento mediante “dientes”. Los dientes rodean en diámetro interno de la rueda en todo su perímetro y su altura está determinada por la diferencia entre el diámetro externo y el diámetro interno de la rueda dentada. Existen diferentes tipos de ruedas dentadas dependiendo de su forma, colocación de los dientes estas son: ruedas dentadas cónicas, helicoidales, cilíndricas, rectas, oblicuas.

Figura 5. Relación de transmisión



Fuente: http://www.microlog.net/mininoticias/mininoticia_microlog_tecnologia_ruedas_dentadas.pdf

N1: velocidad de giro del eje conductor

N2: velocidad de giro del eje conducido

Z1: número de dientes de la rueda dentada 1

Z2: número de dientes de la rueda dentada 2

$$N_1 Z_1 = N_2 Z_2 \quad (2)$$

La transmisión de movimiento entre ejes se tiene que realizar con ruedas dentadas que tengan el mismo paso y el mismo módulo de dientes, es por ella que se utiliza la fórmula siguiente

m: módulo

d: diámetro de la rueda

z: número de dientes

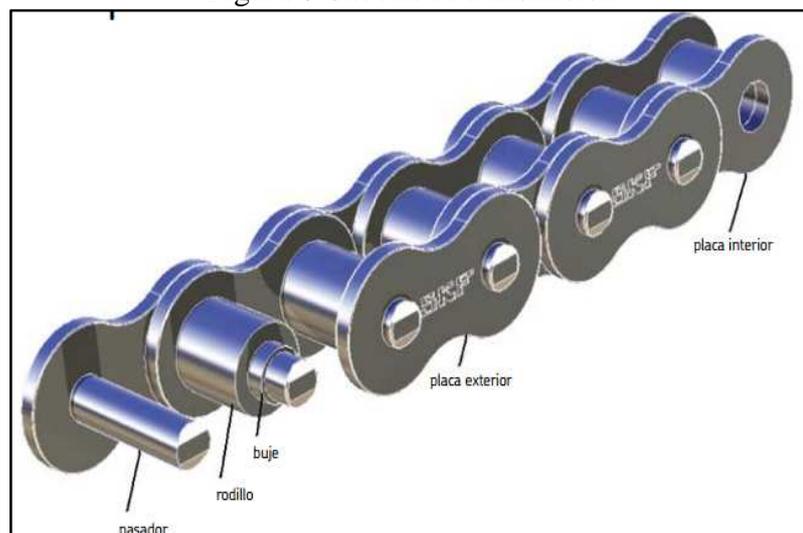
$$m = \frac{d}{z} \quad (3)$$

En un sistema de 2 ruedas dentadas homólogas se llama “corona” al engrane de mayor diámetro y “piñón” al de menor diámetro.

Si el eje conductor tiene menor diámetro que el eje conducido se genera un mecanismo reductor y si el eje conducido es de menor diámetro se genera un mecanismo acelerado.(Micro-Log, 2011)

2.5.6 Cadenas de transmisión. En muchos casos, y por diversas causas, en que no pueden utilizarse las transmisiones por correa, estas se pueden sustituir por las transmisiones por cadenas, constituidas por cadenas de eslabones articulados que se adaptan a ruedas dentadas, que hacen el efecto de poleas, formando un engrane. Es aplicable cuando las distancias entre los centros de los árboles conductor y conducido es demasiado corta para usar correas y demasiado largas para utilizar engranajes.

Figura 6 Cadena de transmisión



Fuente: [http://www.skf.com/binary/87-](http://www.skf.com/binary/87-133515/46.Chain%20Brochure%206772%20ES_tcm_87-133515.pdf)

[133515/46.Chain%20Brochure%206772%20ES_tcm_87-133515.pdf](http://www.skf.com/binary/87-133515/46.Chain%20Brochure%206772%20ES_tcm_87-133515.pdf)

Las principales ventajas

- No presenta deslizamiento, $i = \text{cte}$.
- Son más económicas que los engranajes.
- Fácil montaje.
- Es compacta y no requiere tensión inicial como en el caso de las correas.
- Si está bien diseñada es mucho más duradera que las correas.
- Permite trabajar con menores distancias entre centros de poleas.
- Ante una rotura de uno o varios eslabones es de fácil arreglo.
- Son poco sensibles al medio en que trabajan.
- El mantenimiento es sencillo.

Las principales desventajas

- Solo aplicable cuando los ejes son paralelos, pueden ser varios, pero en todos los casos las ruedas dentadas deben estar en el mismo plano.
- Preferentemente los ejes deben ser horizontales, para evitar el uso de apoyos laterales para la cadena.
- Son más costosas que las transmisiones a correas.
- Necesitan un buen mantenimiento, con limpiezas periódicas y lubricación adecuada.
- Para absorber los alargamientos deben disponerse los ejes de modo que pueda tensarse la cadena o bien montar un piñón tensor en el ramal flojo.

Las transmisiones por cadenas pueden disponerse para índices de transmisión hasta $I=8$, o algo más para pequeñas potencias, procurando que el ángulo abrazado en la rueda pequeña no sea inferior a 120°

.

Las cadenas se construyen en acero de cementación o de bonificación, salvo las que se construyen de fundición maleable y en diversas formas y dimensiones, adecuadas al trabajo que deben realizar. El desgaste de las articulaciones produce un alargamiento permanente y sucesivo en la cadena, que puede ser hasta un 3% aproximadamente.(ODETTO, 2010)

CAPÍTULO III

3. DISEÑO CONCEPTUAL DEL PROTOTIPO DE LA MÁQUINA CENTRIFUGADORA VERTICAL.

Se planifica la construcción de un prototipo de una máquina centrifugadora vertical para su implementación en el taller de fundición de la Facultad de Mecánica de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, con el fin de aportar con el desarrollo de la investigación y práctica para los estudiantes, con su fácil desarrollo y obtención de ejes cilíndricos de aluminio.

3.1 Método del diseño

3.1.1 Método de generación de ideas. Con la finalidad de obtener ejes cilíndricos de aluminio sin porosidades e impurezas y así contribuir con el aprendizaje en la realización de diferentes pruebas tales como: análisis metalográfico, ensayos no destructivos y ensayos destructivos de los ejes en aluminio, se ve la necesidad de construir una máquina que nos permita mejorar la calidad en la fundición.

3.1.1.1 Características. Se identifican los procedimientos y los atributos con que la máquina centrifugadora desarrolla sus funciones.

- Al diseñar el prototipo se planea obtener ejes cilíndricos de aluminio adecuados para mecanizarlos y analizarlos metalográficamente.
- La estructura de la máquina debe ser segura y adecuada por lo que se construirá con acero estructural A-36, el cual se encuentra con facilidad en el mercado y presenta las características necesarias para el soporte de la máquina, tiene un límite de fluencia mínimo de 250 MPa y un límite de rotura mínimo de 410 MPa.
- La máquina centrifugadora debe ser de fácil utilización.
- La máquina centrifugadora debe ser anclada para evitar vibraciones en su funcionamiento.

- La estructura de la máquina debe soportar el peso de los mecanismos de accionamiento y del material fundido.
- La máquina centrifugadora debe poseer un tamaño adecuado para su óptimo funcionamiento, el cual no debe ocupar demasiado espacio en el taller.
- La coquilla del prototipo debe soportar el calor producido por el aluminio fundido.
- La coquilla debe tener un grado de conicidad para facilitar la extracción de la pieza fundida.
- La coquilla debe tener un buen acabado interno para obtener una mayor calidad en el acabado superficial de la pieza fundida y facilitar el mecanizado de la misma.
- El diseño debe ser adaptado a la comodidad del estudiante cuidando su ergonomía para evitar una enfermedad profesional.
- El desarrollo y la elaboración de la práctica de fundición debe realizarse en menor tiempo con respecto a los otros procesos de fundición empleados antiguamente en el laboratorio.

3.1.1.2 Lluvia de ideas. Para desarrollar la lluvia de ideas todos los miembros deben aportar sus criterios con el fin de considerar cual idea es la más apropiada para el diseño de la máquina y así analizar las características más importantes que debe poseer el prototipo de máquina para un correcto funcionamiento.

Lluvia de ideas

- Centrifugadora vertical.
- Centrifugadora horizontal.

Tabla morfológica

Esta parte constituye un acto de creatividad a través del cual se generan posibles alternativas para la solución del problema planteado por lo cual se escogen los medios externos basados en la tabla morfológica donde:

(-) = Menor porcentaje de satisfacción.

(✓) = Mayor porcentaje de satisfacción.

Tabla 3. Tabla morfológica para el diseño del tipo de la centrifugadora

Medios Características y funciones	Centrifugadora vertical	Centrifugadora horizontal
Humanos	√	√
Reductor de velocidad	√	–
Motor eléctrico	√	√
Piñones	√	–
Poleas	–	√
Moldes permanentes	√	√

Fuente: Autores

Entonces se tiene. 6 x 2 alternativas, aquí analizamos todos los factores que intervendrán en la construcción del prototipo de máquina centrifugadora.

Matriz de selección en relación a los objetivos

Tabla 4. Matriz de selección en relación a los objetivos

Objetivos Alternativas	Centrifugadora vertical	Centrifugadora horizontal
Cilindros macizos	10	0
Bajas revoluciones	10	5
Estructura segura	10	10
Fácil utilización	10	10
Tamaño adecuado	8	9
Ergonomía del usuario	10	10

Tabla 4. (Continuación)

Menor tiempo de práctica	8	10
Seguridad	10	10
Cantidad de producción	10	7
Total	84	71

Fuente: Autores

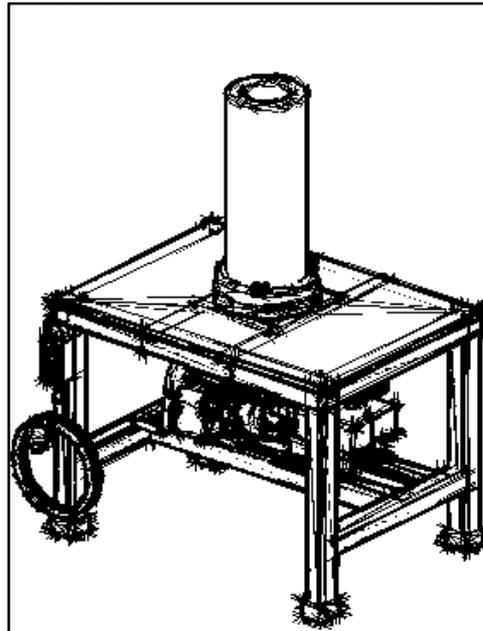
Se llega a la conclusión que el mayor porcentaje de conformidades se encuentra en la máquina centrifugadora vertical, por lo que se procede al planteamiento de su diseño.

3.2 Procedimientos para crear el diseño

3.2.1 *Análisis morfológico*

3.2.1.1 *Bosquejo del prototipo.* Se aclara el objetivo del funcionamiento y los requerimientos necesarios para la construcción de la máquina para ello se desarrolla el siguiente bosquejo:

Figura 7. Bosquejo de la máquina centrifugadora vertical



Fuente: Autores

El prototipo detallado en la figura 7, representa el primer boceto o diseño que se realiza de la máquina centrífuga vertical. El bosquejo supone el primer paso concreto de la máquina, es decir, la primera materialización de la idea.

Funcionamiento. El prototipo de la máquina centrífuga vertical poseerá una estructura de acero la cual sujetará a los diferentes componentes de la centrífuga, el motor de corriente alterna va a transmitir el movimiento al reductor de velocidades por medio de engranes, cadenas o poleas, el reductor estará conectado al sistema de transmisión que hará girar al soporte y el molde o coquilla en el cual será vertido de material fundido “aluminio”.

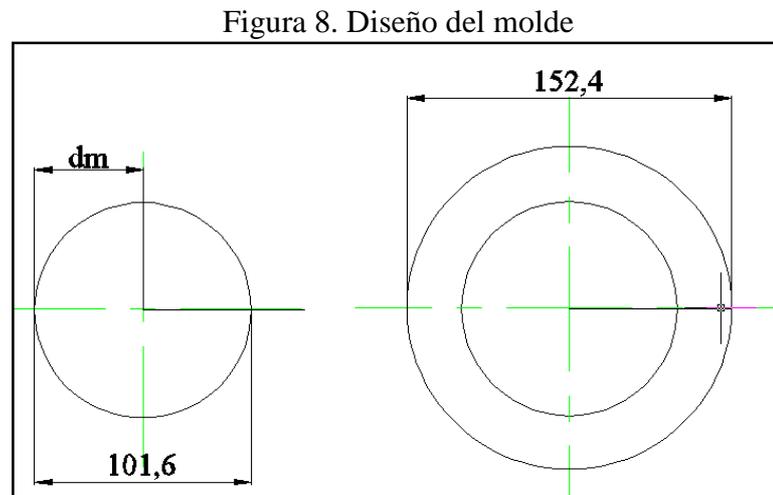
3.3 Diseño detallado

3.3.1 Coquilla o molde. La coquilla o molde es la encargada de contener el material fundido de aluminio el cuál poseerá una altura de 430 milímetros y con un radio de 50,8 milímetros, por lo que se toman los siguientes parámetros.

- El molde va a soportar un eje de aluminio de diámetro de 101,6 milímetros, y por tanto la contracción del aluminio es de 1.12%.
- Para el espesor del molde se debe tomar en cuenta la temperatura de la colada del material fundido, por lo que al momento de esparcir en la coquilla, la temperatura se eleva rápidamente y debe evitar la cristalización del material del molde.
- Si el espesor del molde es exageradamente grueso esto genera una inercia térmica, la cual necesita un calentamiento muy prolongado para encontrar la temperatura deseada.
- El material que se utiliza para fabricar el molde, debe tener un punto de fusión alto en comparación al material fundido que va a estar vertido en el mismo, por tanto debe ser de acero de bajo contenido de carbono para evitar una cristalización del molde.
- El molde debe poseer una conicidad del 3% de su diámetro interno, esto se podrá disminuir con un buen acabado interno al mecanizar el molde.
- El espesor del molde debe tener un espesor adecuado para que soporte altas temperaturas y no sufra deformaciones.

- Para la selección del material del molde, se debe tener en cuenta la temperatura del material fundente y este es un factor a tener en consideración para la selección del mismo.

3.3.1.1 Dimensionamiento. Teniendo en cuenta las consideraciones para definir el espesor del molde para fundiciones de sólidos en aluminio, las coquillas deben ser de 3 a 4 veces el espesor medio de las piezas fundidas, para esto se ilustró en el siguiente gráfico.



Fuente: Autores

dm: diámetro medio de la pieza fundida.

Di: diámetro interior del molde.

de: diámetro exterior de la pieza fundida.

$$D_i = d_e \quad (2)$$

$$D_i = d_e + c \quad (3)$$

$$d_e = 101,6 \text{ mm}$$

Contracción

$$c = 1,75 \% D_i \quad (4)$$

$$c = 1,75\%(101,6 \text{ mm})$$

$$c = 1,77 \text{ mm}$$

$$D_i = 101,6 \text{ mm} + 1,77 \text{ mm}$$

$$D_i = 103,37 \text{ mm}$$

Diámetro medio

$$d_m = D_i \div 2 \quad (5)$$

$$d_m = 51,68 \text{ mm}$$

Basándose en el principio de fundición centrífuga vertical para piezas sólidas se determina que para el cálculo del diámetro exterior de la coquilla o molde de piezas de aluminio, debe tener de 3 a 4 veces el diámetro medio de la pieza fundida, para este caso se determina el diámetro externo del eje.

De: Diámetro exterior del molde

$$D_e = 3d_m \quad (6)$$

$$D_e = 155,05 \text{ mm}$$

El diámetro exterior de la coquilla es de 155,05mm.

Conicidad. El molde debe tener un ángulo interno de inclinación, esto facilita la extracción del cilindro macizo de aluminio.

Tomando en cuenta la contracción que tiene el aluminio se ha determinado mediante ecuaciones trigonométricas la conicidad que debe tener el molde, sin este ángulo de inclinación la pieza fundida de aluminio se solidifica y no se puede extraer con facilidad por la rugosidad existente en el mecanizado del molde.

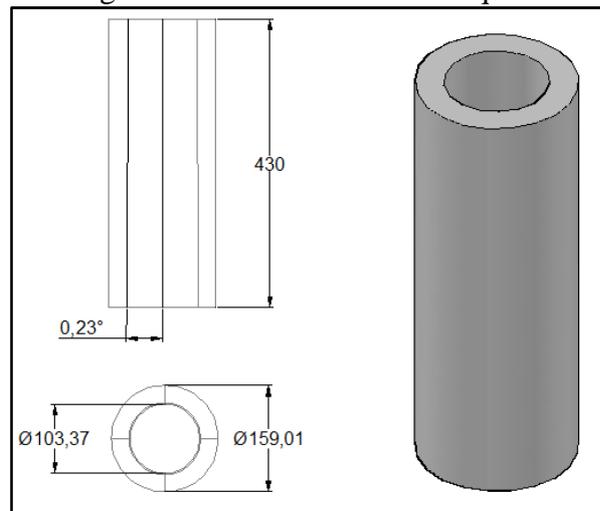
$$c = 1,75\% D_i$$

$$c = 1,77 \text{ mm}$$

$$\text{tg } \alpha = \frac{1,77 \text{ mm}}{430 \text{ mm}}$$

$$\alpha = 0,23^\circ$$

Figura 9. Dimensiones de la coquilla



Fuente: Autores

3.3.1.2 Selección del material del molde. En la selección del material del molde, se debe tomar en consideración que el material de la coquilla debe tener bajo contenido de carbono.

Los aceros aleados y aceros con más del 0,3 % de carbono están expuestos a agrietamientos, choques térmicos y esfuerzos por el calor del material fundido por lo que no son recomendables.

Por lo tanto los aceros más utilizados son; acero 1018, acero 1020 o ASTM A106, en este caso para la construcción del molde se selecciona acero AISI SAE 1018, debido a su disponibilidad en el mercado y sus propiedades físicas las cuales se detallan a continuación.

Tabla 5. Propiedades del acero 1018

PROPIEDADES DEL ACERO AISI-SAE 1018	
Estado	Sólido
Color	Gris 
Esfuerzo de cedencia, Kg/mm ²	40 - 47

Tabla 5. (Continuación).

Resistencia a la tracción, Kg/mm ²	55 - 62
Elongación, A5	17
Dureza de suministro, HB	215
Soldabilidad	AWS E-7018
Punto de fusión	1520 °C

Fuente: Autores

3.3.1.3 Velocidad de rotación. Para determinar la velocidad de rotación de la coquilla en la fundición centrífuga vertical se utiliza la ecuación siguiente:

$$v = \frac{\pi * r * n}{30} \quad (7)$$

Dónde

r: distancia entre el punto de acción y el eje de rotación (m)

n: frecuencia de rotación (rpm).

Para el análisis de la presente tesis la frecuencia de rotación de la coquilla debe ser de 60 rpm, por lo que es necesario realizar una tabla con valores referenciales de la misma, para velocidades de 0.1 a 0.5 m/s

$$n = \frac{30 * v}{\pi * r}$$

Tabla 6. Frecuencia de rotación

$v = 0.1m/s$	$n_1 = \frac{30 * 0.1}{\pi * r}$	$n_1 = 17.684 \text{ rpm}$
$v = 0.2m/s$	$n_2 = \frac{30 * 0.2}{\pi * 0.0534}$	$n_2 = 35.765 \text{ rpm}$
$v = 0.3m/s$	$n_3 = \frac{30 * 0.3}{\pi * 0.0534}$	$n_3 = 53.648 \text{ rpm}$
$v = 0.4m/s$	$n_4 = \frac{30 * 0.4}{\pi * 0.0534}$	$n_4 = 71.530 \text{ rpm}$
$v = 0.5m/s$	$n_5 = \frac{30 * 0.5}{\pi * 0.0534}$	$n_5 = 89.413 \text{ rpm}$

Fuente: Autores

Determinada la frecuencia de rotación para dichas velocidades, se observa que la velocidad lineal para la frecuencia de rotación de 60 rpm está ubicada entre 0.3m/s y 0.4m/s.

$$v = wr \quad (8)$$

Dónde

$$w = \frac{2\pi n}{60} \quad (9)$$

Remplazando.

$$v = \frac{\pi * r * n}{30}$$

$$v = \frac{\pi * 0.0534m * 60rpm}{30}$$

$$v = 0.336m/s$$

3.3.1.4 Esfuerzos. Debido a la presión interna que soporta la coquilla por el metal colado se producen esfuerzos, los mismos que pueden ser radiales, anulares y longitudinales.

Para esto determinamos si la coquilla es de pared gruesa o delgada por medio de la ecuación.

$$\frac{Rm}{t} \geq 10 \quad (10)$$

Dónde

Rm: radio medio

t: espesor del molde.

Entonces decimos que si la relación entre el radio medio y el espesor de la coquilla es mayor o igual a diez se considera un recipiente a presión delgada, y si la relación es menor o igual el recipiente es de pared gruesa.

Con la siguiente ecuación podemos determinar el radio medio del molde a cual es:

$$Rm = \frac{(Re+Ri)}{2} \quad (11)$$

Dónde

Re: radio externo del molde.

Ri: radio interno del molde.

$$Rm = \frac{(77.525mm + 51.68mm)}{2}$$

$$Rm = 64.6025mm$$

Si $t = 25.4$ mm y $Rm = 64.6025$ mm reemplazando en la ecuación (10) tenemos:

$$\frac{64.6025}{25.4} \geq 10$$

$$2.54 \geq 10$$

Se determina que para este caso el recipiente es de pared gruesa.

Presión interna. Para determinar los esfuerzos que se producen en la pared del molde se necesita conocer la presión interna, la misma que se produce por la rotación del metal fundido y se calcula con la ecuación siguiente:

$$P = \frac{F}{A} \quad (12)$$

Dónde

P: presión ejercida en la pared del molde.

F: fuerza centrífuga.

A: área interna del molde.

Fuerza centrífuga. Es aquella fuerza ejercida por el metal fundido en la pared interna del molde y se define por:

$$F = \frac{mv^2}{R}$$

La masa que va a girar es del eje cilíndrico de aluminio y se lo calcula a continuación.

$$VP = \frac{h*\pi}{3} (R^2 + r^2 + R * r) \quad (13)$$

Dónde

VP: volumen de la pieza a obtener.

h: altura de la pieza a obtener.

R: radio mayor de la pieza a obtener.

r: radio menor de la pieza a obtener.

$$VP = \frac{430mm * \pi}{3} [(53.2mm)^2 + (51.68mm)^2 + (53.2mm * 51.68mm)]$$

$$VP = 450.295mm(2830.24mm^2 + 2670.82mm^2 + 2749.38mm^2)$$

$$VP = 3715131.88 \text{ mm}^3$$

$$VP = 0.00371513188 \text{ m}^3$$

Masa del eje cilíndrico de aluminio. Para el cálculo de la masa del eje cilíndrico se parte de la ecuación siguiente.

$$\delta = \frac{m}{v} \quad (14)$$

Dónde

δ : densidad.

m: masa

v: volumen.

$$m = \delta * v$$

$$m = 2700 \text{ kg/m}^3 * 0.0037151m^3$$

$$m = 10.0309 \text{ kg}$$

Cálculo de la fuerza centrífuga. Para este cálculo es necesario conocer el valor de la masa del eje cilíndrico de aluminio, la velocidad a la cual se encuentra girando el molde y el radio interno del mismo.

m: 10.0309 kg.

v: 0.336 m/s.

Ri= 0.0534 m

Reemplazar los valores en la ecuación (1):

$$F = \frac{mv^2}{Ri}$$

$$F = \frac{10.0309 \text{ kg} (0.336 \text{ m/s})^2}{0.0534 \text{ m}}$$

$$F = 21.19 \text{ N}$$

Área interna del molde. Como el área interna del molde es un tronco de cono la ecuación es la siguiente:

$$A = \pi(R + r) * g \quad (15)$$

Donde“g” es la generatriz y se calcula con la ecuación:

$$g = \sqrt{h^2 + (R - r)^2} \quad (16)$$

$$g = \sqrt{430 \text{ mm}^2 + (53.2 \text{ mm} - 51.68 \text{ mm})^2}$$

$$g = 430.003 \text{ mm}$$

Reemplazando en la ecuación (15):

$$A = \pi(53.2 \text{ mm} + 51.68 \text{ mm}) * 430.003 \text{ mm}$$

$$A = 141681.79 \text{ mm}^2$$

$$A = 0.14168179 \text{ m}^2$$

Reemplazando en la ecuación (12):

$$P = F/A$$

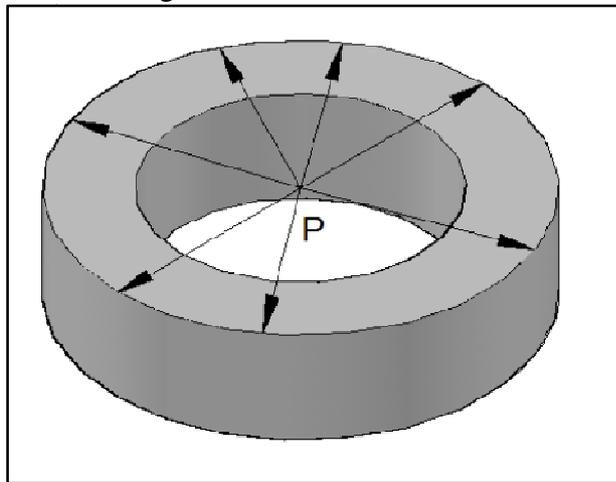
$$P = \frac{21.19 \text{ N}}{0.1417 \text{ m}^2}$$

Calculada la presión interna del molde se puede calcular los esfuerzos a los que está sometido el molde.

Esfuerzo tangencial. El esfuerzo tangencial o también conocido como esfuerzo cortante, es el que actúa en forma paralela a la superficie del cuerpo.

Para realizar el análisis del esfuerzo se asume un corte del molde el cual facilita visualizar los esfuerzos.

Figura 10. Esfuerzo cortante



Fuente: Autores

El esfuerzo cortante o tangencial es producido por la presión interna en un punto cualquiera en el interior del molde, se lo puede calcular en el interior de la pared del molde con la ecuación $\tau = \frac{Pr}{2t}$ o con la ecuación $\tau_{max} = \frac{Pr}{t}$ para el esfuerzo máximo en este caso lo hacemos con el ultimo.

$$\tau_{max} = \frac{Pr}{t} \tag{17}$$

Dónde

P: presión interna uniforme en todas direcciones.

Re: radio exterior del molde o coquilla.

Ri: radio interno del molde o coquilla.

$$\tau_t = \frac{149.54 \text{ Pa} * [(0.0532\text{m})^2 + (0.05168\text{m})^2]}{(0.0532\text{m})^2 - (0.05168\text{m})^2}$$

$$\tau_t = \frac{0.822629}{0.00015942} \text{ Pa}$$

$$\tau_t = 5160.14 \text{ Pa}$$

Esfuerzo longitudinal. Este tipo de esfuerzos se genera a lo largo del molde o coquilla y es constante en toda su longitud, y su ecuación es:

$$\tau_l = \frac{P * Ri^2}{Re^2 - Ri^2} \quad (18)$$

$$\tau_l = \frac{149.54 \text{ Pa} * (0.05168 \text{ m})^2}{(0.0532\text{m})^2 - (0.05168\text{m})^2}$$

$$\tau_l = 2505.33 \text{ Pa}$$

Esfuerzo radial. Es un esfuerzo generado por la compresión y varía de cero en la superficie externa de la coquilla hasta un valor máximo en la superficie interna el cual es igual a la presión interna.

$$\tau_r = -P \quad (19)$$

$$\tau_r = -149.54 \text{ Pa}$$

Esfuerzo de diseño. Para el análisis del esfuerzo de diseño es necesario tener en cuenta algunos parámetros como el material de la coquilla, el medio ambiente en el que va a operar y la presión a la que estará sometido.

El material fundido ejercerá una presión constante sobre las paredes internas de la coquilla por lo que el esfuerzo de diseño se basará en la resistencia a la cedencia del material, para este tipo de cálculos siempre se los realiza con la presión máxima que soportará la coquilla.

$$\tau_d = \frac{S_y}{N} \quad (20)$$

Dónde

τ_d : esfuerzo de diseño.

S_y : cedencia del material.

N: factor de diseño.

Factor de diseño. La selección del factor de diseño N, con frecuencia se los realiza en base a un reglamento el cual estipula los peligros de los recipientes a presión.

Esto es particularmente cierto en el caso de recipientes que contienen gases o vapores a presión ya que si existen falla se producen explosiones o expulsiones violentas de gas liberando así una gran cantidad de energía almacenada.

Al no contar con un reglamento, se usara un factor N=4 como mínimo y se utilizará valores mayores en aplicaciones críticas o Donde exista incertidumbre con respecto a las condiciones de operación o a las propiedades del material, en este caso se utilizará un factor de diseño N=5, debido a que no existe un reglamento específico que estandarice los factores de diseño en moldes centrifugados.

El esfuerzo máximo es el tangencial 5160.14 Pa por lo tanto la resistencia a la cedencia requerida del material es de:

$$S_y = \tau_t * N \quad (21)$$

$$S_y = 5160.14 \text{ Pa} * 5$$

$$S_y = 25800.7 \text{ Pa}$$

$$S_y = 0.026 \text{ MPa}$$

Los datos de la cedencia los podemos verificar (en la tabla 7).

Un ves verificado los valores en la tabla se puede determinar que el molde no se va a ver afectado por la presión que ejerce el metal fundido en la pared interna del mismo.

Tabla 7. Resistencia a la cedencia.

Material	Condición	Resistencia a la cedencia Sy		Porcentaje de alargamiento
		Ksi	MPa	%
1018	Sin tratamiento	44	310	36
1018	Recocido	39	276	38
1018	Estirado en frio	68	482	28
1020	Recocido	43	296	36
1020	Laminado en caliente	48	331	36
1020	Estirado en frio	64	441	20

Fuente: MOTT Robert. Resistencia de materiales aplicada. pág. 597

3.3.1.5 Comportamiento térmico. Para poder determinar el tiempo de fundición es conveniente conocer el comportamiento térmico y el calor transferido al medio.

Conociendo el procedimiento que se va a realizar en el molde durante el proceso de colado y posterior enfriamiento, se define que existe un proceso de transferencia de calor por conducción.

El análisis que se realizará es a través del uso de la ley de Fourier, la cual indica que el calor se conduce a través de un medio partiendo de una región de alta temperatura a una que posee baja temperatura.

Una condición importante para que se cumpla esta ecuación es que la longitud (L) sea mayor al radio externo del molde (Re). Este análisis se lo realiza para conocer el comportamiento de la temperatura en el molde una vez que el metal fundido ingresa el mismo y se lo calcula con la siguiente ecuación:

$$Q = \frac{2\pi Lk(T_i - T_e)}{\ln \frac{R_e}{R_i}} \quad (22)$$

Dónde

Q: calor que se conduce hacia fuera del molde.

L: longitud del molde.

k: conductividad térmica del molde.

Ti: temperatura interna del molde.

Te: temperatura externa del molde.

Re: radio externo del molde.

Ri: radio interno del molde.

A continuación se detalla los valores de calor específico del aluminio a diferentes temperaturas, cabe resaltar que los valores indicados en esta tabla corresponden al aluminio en un 99.99% de pureza.

Tabla 8. Calor específico del aluminio

Calor específico del aluminio			
Temperatura °C	Calor específico J/kg. K	Temperatura °C	Calor específico J/kg. K
-100	720	660 fest	1240
20	900	660 flussing	1040
100	960	700	1040
300	1020	800	1060
500	1110		

Fuente: HUFNAGEL W. Manual del aluminio. Editorial reverté s.a. pág 104

Realizadas las pruebas en el taller de fundición de la Facultad de Mecánica se verifica que la temperatura del aluminio fundido fue de 789 °C por lo que se asume un valor de 1060 J/kg.K para el calor específico.

Reemplazando los valores en la ecuación (21):

$$Q = \frac{2\pi * 0.43m * 0.67 \frac{kcal}{m.min.^{\circ}C} (789^{\circ}C - 200^{\circ}C)}{\ln \frac{0.0795}{0.0532}}$$

$$Q = \frac{339.38 Kcal/min}{0.4017}$$

$$Q = 844.86 \text{ kcal/min}$$

Es decir que del interior del molde se pierde 844.86 Kcal/min de energía calorífica.

Ahora se determina el tiempo en el cual el aluminio puede ser removido del molde esto lo hacemos utilizando la ecuación de energía calorífica:

$$Q = m * C_e * (T_i - T_2) \quad (23)$$

Dónde

m: masa del aluminio

Ce: calor específico.

Ti: temperatura a la que se puede retirar la pieza de aluminio.

T₂: temperatura de ingreso del aluminio al molde.

$$Q = 10.0309 \text{ kg} * 0.217 \frac{\text{kcal}}{\text{kg } ^\circ\text{C}} * (100^\circ\text{C} - 789^\circ\text{C})$$

$$Q = -1499.75 \text{ kcal}$$

Una vez sustituido los valores en la ecuación de energía calorífica se obtiene este resultado, el cual determina que para retirar la pieza del molde a una temperatura de 100 °C, el eje cilíndrico de aluminio debe perder 1499.75 kcal.

Entonces:

Perdida de calor en el molde 844,86 kcal/min.

Perdida de calor requerida en el aluminio 1499.75 kcal.

$$\begin{array}{l} 844.86 \text{ kcal} \rightarrow 60\text{s} \\ 1499.75 \text{ kcal} \rightarrow x = 106.51 \text{ segundos} \end{array}$$

Una vez obtenido el resultado se determina que el cilindro macizo puede ser retirado del molde después de un tiempo de 1 minuto y 47 segundos.

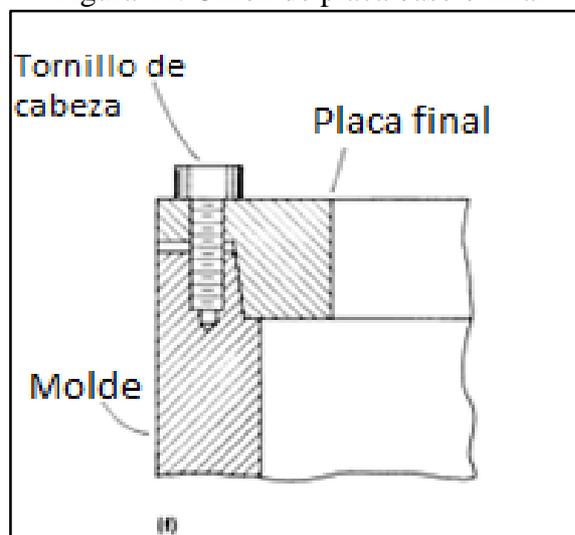
3.3.2 Plato giratorio. El plato giratorio está compuesto de dos elementos un anillo sujetador y una placa base.

Anillo sujetador. Está diseñado para sujetar o fijar la coquilla en posición vertical con respecto al plato giratorio y está constituido de acero AISI 1018, sus dimensiones son las siguientes: un diámetro interno de 159mm, diámetro externo de 200mm y una altura de 30mm.

Placa base. Es una placa circular de acero ASTM A36 que está unida al anillo sujetador por medio de pernos, sus dimensiones son: un diámetro interno 45mm para colocar el eje de transmisión y diámetro externo de 210mm.

Para la unión de los dos elementos del plato giratorio se necesario realizar una selección de los diferentes tipos de fijación entre en molde y la placa base, una vez analizado todos los tipos se determina el más adecuado para este caso el cual se puede observar en la figura 11.

Figura 11. Unión de placa base o final



Fuente:ASM Metals Handbook, Vol 15. Casting. Pág 644

La unión del plato giratorio se realiza a través pernos de sujeción.

El número de pernos que se utilizan para fijar los elementos varían de acuerdo al diámetro exterior de las piezas, por lo cual utilizamos los siguientes datos.

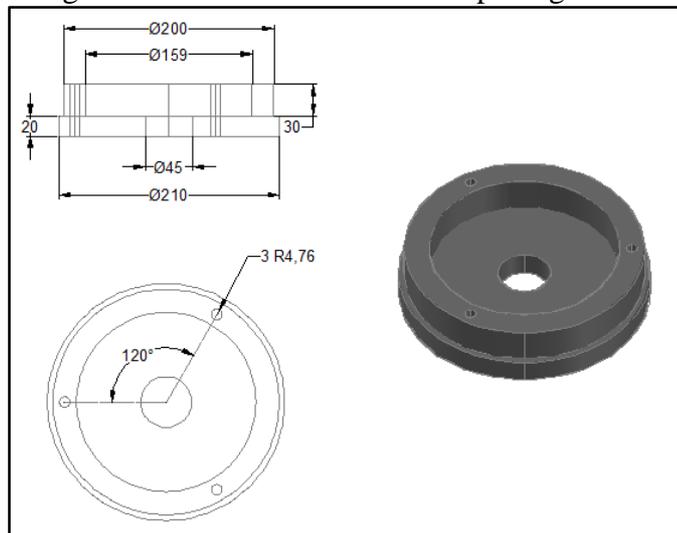
Tabla 9. Número de perno de acuerdo al diámetro del molde

Diámetro de piezas	Numero de pernos
Hasta 250mm (10plg)	3
250-380mm (10 a 15 plg)	4
380-480mm (15 a 19 plg)	5

Fuente: Autores

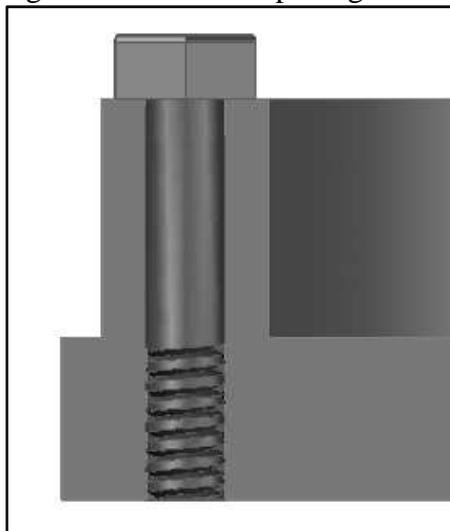
3.3.2.1 Dimensionamiento. Para el plato giratorio se determina sus dimensiones a través de los parámetros de la coquilla o molde, determinando así el espesor de la placa base que sería de 20mm a 25mm.

Figura 12. Dimensionamiento del plato giratorio



Fuente: Autores

Figura 13. Unión del plato giratorio.



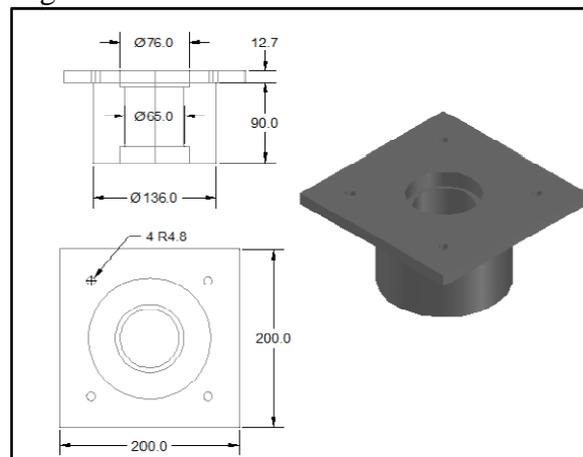
Fuente: Autores

3.3.2.2 Selección del material. Los materiales de placas de extremo más utilizados son de acero ASTM A36, acero 1015 y acero 1018. En los casos de placas de gran diámetro (>450mm o 18 in), el material de la placa puede ser de recipientes de presión como ASTM A285 de grado C o A515 grado 70. (STEFANESCU, 1992)

Para la construcción del anillo sujetador se selecciona barra perforada que es de acero AISI-SAE 1018 y para la placa base una plancha de acero ASTM A36, esta selección se la realizó por sus propiedades y disponibilidad en el mercado local.

3.3.3 Manzana. Este elemento está compuesto de dos partes, una plancha de acero ASTM A36 con las siguientes dimensiones 200mm de largo x 200mm ancho x 12.7mm de espesor y por una barra perforada con diámetro externo de 136mm, diámetro interno de 65mm y una altura de 90mm; las cuales están unidas a través de soldadura SMAW con electrodo 6011.

Figura 14. Dimensionamiento de la manzana



Fuente: Autores

3.3.4 Rodamientos. El tipo de rodamiento más común, el rígido de bolas, se utiliza ampliamente en una variedad de campos. Los rodamientos rígidos de bolas incluyen los que traen tapas de protección y los sellados, ambos tienen grasa la cual los hace más fáciles de usar.

Entre los rodamientos rígidos de bolas también hay rodamientos con un anillo de ubicación en el aro exterior para facilitar el posicionamiento del rodamiento al momento del montaje, rodamientos compensadores de expansión los cuales absorben la variación

en las dimensiones de la superficie de ajuste debido al incremento de temperatura del alojamiento y rodamientos tipo TAB, que son capaces de soportar contaminación en el lubricante (Corporation, 2004).

3.3.4.1 Selección del rodamiento. Los rodamientos rígidos de bolas son usados muy ampliamente. Poseen una ranura profunda en los anillos interior y exterior, permitiéndoles soportar cargas radiales y axiales en cualquier dirección, así como también cargas complejas que puedan resultar de la combinación de estas fuerzas.

Los rodamientos rígidos de bolas son adecuados para aplicaciones de altas velocidades.

En este caso se selecciona los rodamientos de acuerdo a sus dimensiones y características necesarias para este proyecto, para lo cual se escoge los rodamientos NTN 6207 zz.

3.3.5 Sistema de transmisión. Para el diseño del sistema de transmisión se toma en cuenta la velocidad teórica a la que debe girar el molde, además los esfuerzos de flexión y torsión a los que el sistema va estar sujeto.

3.3.5.1 Determinación de la potencia. En sistemas mecánicos complejos con elementos rotativos alrededor de un eje fijo y donde el momento de inercia permanece constante, la potencia mecánica puede relacionarse con el par motor y la velocidad angular.

De acuerdo con la mecánica clásica, el trabajo realizado sobre el cuerpo en rotación, es igual a la variación de su energía cinética de rotación, por lo que la potencia desarrollada por el par o momento de fuerza en el molde debe ser calculada para la posterior determinación del sistema de transmisión (QUEZADA, 2013).

Inicialmente se debe conocer la potencia que se desea transmitir para el movimiento del molde, esto se calcula a partir de la siguiente ecuación:

$$P = M * W \quad (24)$$

Dónde

P: potencia requerida.

M: torque mínimo para generar movimiento en el molde a la velocidad angular requerida.

W: velocidad angular.

El torque necesario para generar el movimiento en el molde está definido por la siguiente ecuación:

$$M = I * \alpha \quad (25)$$

Dónde

I: momento de inercia del molde y de la pieza.

α : aceleración angular requerida.

Momento de inercia del molde. Considerando que el molde tiene la misma configuración que un cilindro hueco, su momento de inercia en el eje de rotación “y” está definido por la siguiente ecuación:

$$I_m = \frac{1}{2} M (R_1^2 + R_2^2) \quad (26)$$

Dónde

I_m : inercia del molde.

M: masa del molde (kg).

R_1 : radio externo del molde (m).

R_2 : radio interno del molde (m).

$$I_m = \frac{1}{2} * 37.10 \text{ Kg} [(0.0795 \text{ m})^2 + (0.0532 \text{ m})^2]$$

$$I_m = 16,97 \text{ kg} * \text{m}^2$$

Por lo que el momento de inercia es de 16,97 kg m².

Momento de inercia de la pieza. Ya que la pieza fundida es un eje cilíndrico se utiliza la siguiente ecuación:

$$I_p = \frac{1}{2}mR^2 \quad (27)$$

Dónde

I_p : inercia de la pieza.

M : masa de la pieza

R : radio de la pieza.

$$I_p = \frac{1}{2}mR^2$$

$$I_p = \frac{1}{2} * 10.0309 \text{ kg} (0.0532 \text{ m})^2$$

$$I_p = 1,419 \text{ kg} * \text{m}^2$$

Inercia total del conjunto

$$I_t = I_m + I_p \quad (28)$$

$$I_t = 16,97 \text{ kg} * \text{m}^2 + 1,419 \text{ kg} * \text{m}^2$$

$$I_t = 18,39 \text{ kg} * \text{m}^2$$

Aceleración angular. Está definida por la siguiente ecuación:

$$\alpha = \frac{W}{t} \quad (29)$$

Dónde

α : aceleración angular.

W : velocidad angular.

t : tiempo en el que se alcanza la aceleración angular.

De acuerdo a los cálculos realizados anteriormente, la frecuencia de rotación a la que está sometido el molde respecto a su eje interno es:

$$n = 60 \text{ rpm}$$

Remplazando la frecuencia de rotación en la ecuación (9):

$$W = \frac{2\pi n}{60}$$

$$W = \frac{2\pi(60 \text{ rpm})}{60}$$

$$W = 6.2832 \text{ rad/s}$$

Determinando así la velocidad angular que es 6.2832 rad/s.

Con los datos calculados y asumiendo que el molde alcanza su velocidad angular en un tiempo de 2 segundos se tiene que la aceleración angular es:

$$\alpha = \frac{6.2832 \text{ rad/s}}{2 \text{ s}}$$

$$\alpha = 3.1416 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$$

Remplazando los datos en la ecuación (25) tenemos:

$$M = I t * \alpha$$

$$M = 18.39 \text{ kg} * m^2 (3.1416 \frac{\text{rad}}{\text{s}^2})$$

$$M = 57.8 \text{ N} \cdot m$$

Ahora podemos determinar la potencia (ec. 24) la cual es:

$$P = M * W$$

$$P = 57.8 \text{ N} \cdot m (6.2832 \text{ rad/s})$$

$$P = 363.2 \text{ W}$$

La potencia requerida para generar el movimiento del molde es de 363.2 vatios equivalente a 0.486 hp, por lo tanto sea seleccionado un motor de 0.5 hp.

3.3.5.2 Transmisión por cadena. Para el sistema de transmisión del prototipo de la máquina centrifugadora vertical, se analizó anteriormente en la tabla morfológica donde se determina que el sistema más óptimo de transmisión en este caso es el de piñones y cadenas.

El prototipo va estar expuesto a altas temperaturas en el sistema de transmisión eje-reductor por lo que es conveniente seleccionar el sistema piñón-cadena a continuación se detalla las características.

Potencia de diseño. Para calcular la potencia de diseño es necesario seleccionar un factor de servicio en la siguiente tabla:

Tabla 10. Factores de servicio para transmisiones por cadena.

Tipo de carga	Tipo de impulsor		
	Impulsor hidráulico	Motor eléctrico o turbina	Motor de combustión interna con transmisión mecánica
Uniforme (agitador, ventiladores, transportadores con carga ligera y uniforme)	1.0	1.0	1.2
Choque moderado (grúas, máquinas herramientas, transportadores, pesados, mezcladores de alimento y molinos)	1.2	1.3	1.4
Choque pesado (molinos de martillo, transportadores alternos, accionamientos de molino de rodillos, presas de troquelado)	1.4	1.5	1.7

Fuente: MOTT Robert. Diseño de elementos de máquinas. Pág. 290

En este caso se selecciona un factor de servicio igual a 1.0, ya que es un tipo de carga uniforme con motor eléctrico.

$$P_d = F_s * P_t \quad (30)$$

Dónde

Pd: potencia de diseño.

Fs: factor de servicio.

Pt: potencia transmitida.

$$Pd = 1.0 * 0.5 \text{ hp}$$

$$Pd = 0.5 \text{ hp}$$

Relación de transmisión. Para calcular la relación de transmisión es necesario conocer la frecuencia de rotación que entra en el sistema y la frecuencia de rotación que sale.

$$R = \frac{N_2}{N_1}$$

Dónde

R: relación de transmisión.

N₁: frecuencia de rotación de entrada.

N₂: frecuencia de rotación de salida.

$$R = \frac{60 \text{ rpm}}{34.8 \text{ rpm}}$$

$$R = 1.724$$

Selección de las ruedas dentadas. Para la selección de las ruedas dentadas se debe consultar en la tabla del anexo A.

Donde para seleccionar la rueda dentada se tiene que tener en cuenta la velocidad de rotación y la potencia de diseño, en este caso y por el stock existente en Riobamba se seleccionó una cadena pasó 40 y una rueda dentada de 18 dientes ya que cumplen con los requerimientos que establecen en la tabla del anexo A.

La rueda dentada grande se la calcula por medio de la relación de transmisión.

$$R = \frac{Z_1}{Z_2}$$

$$Z_1 = R * Z_2$$

$$Z_1 = 1.724 * 18$$

$$Z_1 = 31.03$$

Una vez obtenido los cálculos se selecciona una rueda dentada de 30 diente ya que es la más cercana a la calculada.

Velocidad de salida. Una vez determinada las ruedas dentadas se puede determinar la velocidad de salida.

$$\frac{N_2}{N_1} = \frac{Z_1}{Z_2}$$

$$N_2 = \frac{N_1 * Z_1}{Z_2}$$

$$N_2 = \frac{34.8 \text{ rpm} * 30}{18}$$

$$N_2 = 58 \text{ rpm}$$

La velocidad de salida obtenida es de 58 rpm que es aceptable para el prototipo.

Diámetro de las catalinas. Para el cálculo del diámetro primitivo de las catalinas se utiliza la siguiente ecuación:

$$D = \frac{p}{\text{sen}(180^\circ/Z)} \quad (31)$$

Dónde

D: diámetro de la rueda dentada o catalina

p: paso de la rueda dentada o catalina.

Z: número de diente de la rueda dentada o catalina.

Rueda dentada de 18 dientes

$$D_1 = \frac{p}{\text{sen}(180^\circ/Z_1)}$$

$$D_1 = \frac{0.5 \text{ plg}}{\text{sen}(180^\circ/18)}$$

$$D_1 = 2.88 \text{ plg}$$

Rueda dentada de 30 dientes

$$D_2 = \frac{p}{\text{sen}(180^\circ/Z_2)}$$

$$D_2 = \frac{0.5 \text{ plg}}{\text{sen}(180^\circ/30)}$$

$$D_2 = 4.78 \text{ plg}$$

Longitud de la cadena. Para el presente trabajo es necesario conocer cuál es la longitud de la cadena, la misma se calcula a través de la siguiente ecuación:

$$L = 2C + \frac{Z_2 + Z_1}{2} + \frac{(Z_2 - Z_1)^2}{4\pi^2 C} \quad (32)$$

Dónde

L: longitud de la cadena expresada en pasos.

C: distancia entre centros en pasos.

Z₁: número de dientes (18).

Z₂: número de dientes (30).

$$L = 2(14) + \frac{30 + 18}{2} + \frac{(30 - 18)^2}{4\pi^2(14)}$$

$$L = 52.26 \text{ pasos}$$

Se determina que la longitud teórica de la cadena es de 52.26 pasos pero en la realidad para la construcción de la máquina se selecciona una longitud de 53 pasos ya que es necesario un ajuste entre la cadena y las ruedas dentadas conductora y conducida, el paso de la cadena y de las ruedas es igual a 12.7 mm.

Ángulo de contacto. El arco de contacto θ_1 de la cadena en la catalina menor debe ser mayor a 120° .

$$\theta_1 = 180^\circ - 2\text{sen}^{-1} \left[\frac{(D_2 - D_1)}{2c} \right] \quad (33)$$

$$\theta_1 = 180^\circ - 2\text{sen}^{-1} \left[\frac{(4.78 \text{ plg} - 2.88 \text{ plg})}{2 * 7.022 \text{ plg}} \right]$$

$$\theta_1 = 164.45^\circ$$

Y para el arco de contacto θ_2 de la cadena con la catalina mayor es:

$$\theta_1 = 180^\circ + 2\text{sen}^{-1} \left[\frac{(D_2 - D_1)}{2c} \right] \quad (34)$$

$$\theta_1 = 180^\circ + 2\text{sen}^{-1} \left[\frac{(4.78 \text{ plg} - 2.88 \text{ plg})}{2 * 7.022 \text{ plg}} \right]$$

$$\theta_1 = 195.55^\circ$$

3.3.5.3 Eje de transmisión. Es necesario determinar el coeficiente de seguridad del eje, este permite garantizar que el diseño del mismo es el adecuado, para que esto suceda el coeficiente de seguridad deberá estar por encima de 1.8.

Para el cálculo de la velocidad se utiliza la siguiente ecuación:

$$S = \frac{TPN}{1000} \text{ (m/min)} \quad (35)$$

Dónde

- T: número de dientes
- P: paso de la rueda dentada
- N: velocidad angular.

$$S = \frac{18 * 12,7 * 58}{1000}$$

$$S = 13,26 \text{ m/min}$$

Determinación de la fuerza que actúa sobre el eje.

$$L = \frac{60 W}{S} \quad (36)$$

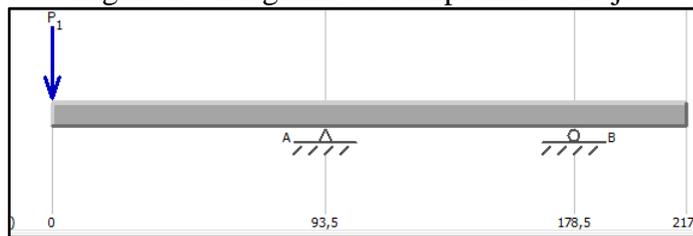
Dónde

W: Potencia del motor.

$$L = \frac{60 * (362,2 \text{ watts})}{13,26 \text{ m/min}}$$

$$L = 1638,9 \text{ N}$$

Figura 15. Diagrama de cuerpo libre del eje



Fuente: Autores

Momentos

Momento de la rueda conducida

$$M = L * r$$

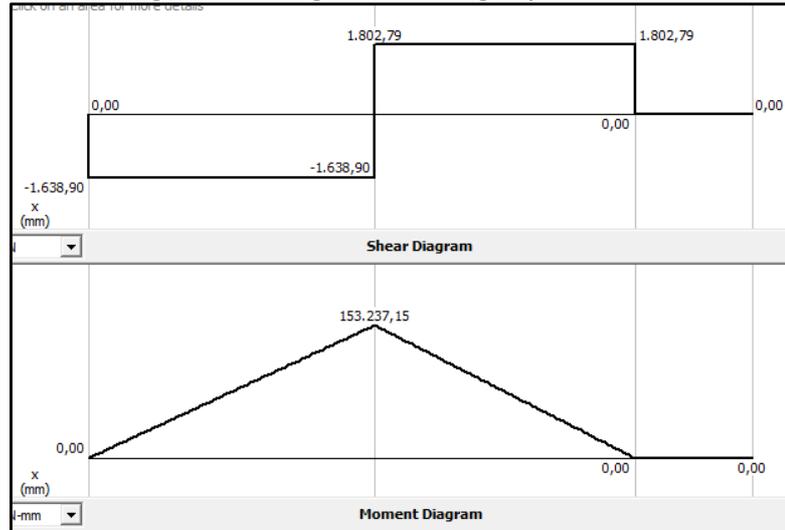
$$M = 1638,9 \text{ N} * 0,0366 \text{ m}$$

$$M = 59,94 \text{ N} \cdot \text{m}$$

Cálculo del momento en el eje

Para el cálculo de los momentos actuantes sobre el eje, se ha utilizado un programa de elementos finitos.

Figura 16. Diagrama de cargas y momento.



Fuente: Autores

En la figura 16 podemos observar el diagrama de momentos, donde el valor del momento flector máximo en el eje es igual a 153,24 N m.

Para el diseño del eje de transmisión se ha tomado un diámetro de 35 mm, para comprobar su factor de seguridad se utiliza la siguiente fórmula.

$$N = \frac{\pi d^3}{32} \left[\left(K_f \frac{M}{S_n} \right)^2 + \frac{3}{4} \left(\frac{T}{S_y} \right)^2 \right]^{-1/2} \quad (38)$$

Dónde

- d: diámetro del eje en la posición de los rodamientos
- K_f: Factor de concentración de esfuerzos por fatiga
- M: Momento
- S_n: Esfuerzo de corrección de cargas
- T: Momento de la rueda dentada.
- S_y: Resistencia de fluencia en tracción

Para el cálculo de S_n, se lo realiza de la siguiente fórmula:

$$S_n = S_c \quad (39)$$

$$S_c = S_e' * k \quad (40)$$

$$S_e' = 0,5 S_u \quad (41)$$

Sustituyendo la ecuación 41 en la 40:

$$S_c = 0,5 S_u * k$$

El valor de S_u es de 524 Mpa, mediante tabla en el anexo B.

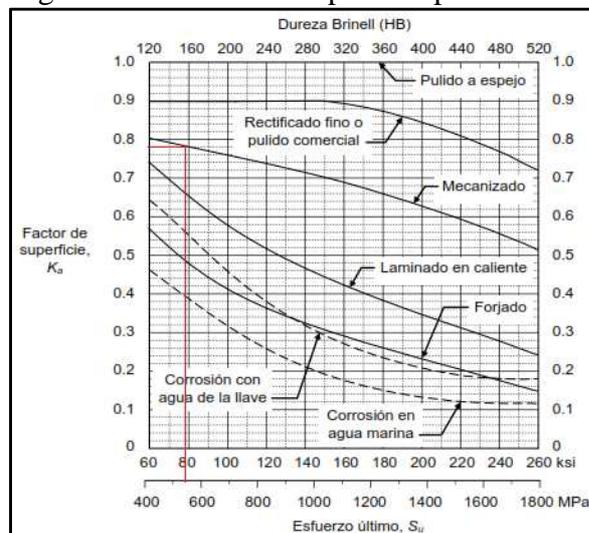
Cálculo del factor de resistencia de fatiga

El factor de resistencia de fatiga “K” se lo determina a través de los diferentes factores que actúan en el eje tales como el factor de superficie, de tamaño, de confiabilidad, de temperatura, de efectos varios y de carga que intervienen en la ecuación:

$$K = k_a * k_b * k_c * k_d * k_e * k_{car} \quad (42)$$

Factor de superficie (K_a). El estado superficial tiene efecto sobre la resistencia a la fatiga de los elementos; a mayor rugosidad de la superficie, menor será la resistencia, ya que las irregularidades de la superficie actúan como pequeñísimos concentradores de esfuerzos que pueden iniciar una grieta de manera más temprana.

Figura 17. Factores de superficie para el acero



Fuente: VANEGAS Libardo. Diseño de elementos de máquinas. Cap. 5. Pág. 15

Con el valor del esfuerzo último S_u igual a 524 Mpa y el eje es mecanizado se obtiene un factor de superficie K_a aproximado es 0.78.

Factor de tamaño (K_b). El tamaño de la pieza en las secciones críticas también tiene efecto sobre su resistencia. En general, a mayor tamaño de la pieza menor es su resistencia, aunque para carga axial no existe este efecto.

Para el cálculo del factor de tamaño, se utiliza una ecuación de acuerdo al diámetro del eje en este caso es 35 mm, cayendo en el intervalo de 8 mm a 250 mm.

Figura 18. Factor de tamaño.

$K_b = 1, \quad \text{si } d_e \leq 8 \text{ mm (0.3 in)}$ $K_b = 1.189d_e^{-0.097}, \quad \text{si } 8 \text{ mm} < d_e \leq 250 \text{ mm}$ $(K_b = 0.869d_e^{-0.097}, \quad \text{si } 0.3 \text{ in} < d_e \leq 10 \text{ in})$ $K_b = 0.6, \quad \text{si } d_e > 250 \text{ mm (10 in),}$	}	Flexión o torsión
--	---	-------------------

Fuente: VANEGAS Libardo. Diseño de elementos de máquinas. Cap. 5. Pág. 17

$$K_b = 1,189 d e^{-0,097} \quad (43)$$

Dónde

de: diámetro del eje.

$$K_b = 1,189(35 \text{ mm})^{-0,097}$$

$$K_b = 0,842$$

Factor de confiabilidad (K_c). El factor de confiabilidad (K_c) corrige la resistencia a la fatiga de tal manera que se tenga una mayor probabilidad de que la resistencia real de una pieza sea mayor o igual que el valor corregido.

Para la determinación de este factor se supone que la desviación estándar de la resistencia a la fatiga es de 8%. Utilizando ecuaciones estadísticas correspondientes a la campana de Gauss (distribución normal) se obtiene la siguiente tabla.

Tabla 11. Factor de confiabilidad.

Confiabilidad (%)	50	90	99	99,9	99,99	99,999
K_c	1	0,897	0,814	0,753	0,702	0,659

Fuente: VANEGAS Libardo. Diseño de elementos de máquinas. Año 2009.

Al igual que el factor de superficie (K_a) y el factor de tamaño (K_b), el factor de confiabilidad varía entre 0 y 1. Teóricamente, una confiabilidad del 100% no se podría lograr ya que la campana de Gauss se extiende hasta infinito. Para propósitos prácticos, una confiabilidad teórica del 99.9% sería suficiente en muchos casos, pero el diseñador decide con qué confiabilidad trabaja.

Se selecciona un porcentaje de confiabilidad del 99 % dando un K_c de 0,814.

Factor de temperatura (K_d). De acuerdo con datos experimentales de los aceros, el límite de fatiga permanece más o menos constante entre la temperatura ambiente y 450°C, es por ello que se determina a través del siguiente parámetro.

$$K_d = 1, \quad \text{si } T \leq 450^\circ\text{C}$$

El eje de transmisión no va a soportar temperaturas superiores a 450°C por tal razón se selecciona un factor de 1.

Factor de efectos varios (K_e). Existen otros factores que modifican la resistencia a la fatiga de los materiales; todos los efectos no considerados por los otros factores son cuantificados por el factor K_e . Sin embargo, es muy escasa la información cuantitativa sobre dichos efectos. En general el factor K_e está entre los valores de 0 a 1, pero en el caso de ausencia de corrosión, procesos de manufactura, esfuerzos residuales, recubrimientos, se puede tomar $K_e = 1$.

Factor de carga (K_{car}). El comportamiento a la fatiga de un elemento depende también del tipo de carga al cual se somete. Las resistencias a la rotura y a la fluencia de un material son diferentes para esfuerzos cortantes y normales; sucede lo mismo con la resistencia a la fatiga. Además, también hay diferencia entre carga axial y flexión, a pesar de que ambos tipos de carga generan esfuerzos normales.

El eje está sometido a flexión por lo tanto $K_{car} = 1$

Reemplazando el valor de los factores que afectan la resistencia a la fatiga en la ecuación (42) se obtiene.

$$K = k_a * k_b * k_c * k_d * k_e * k_{car}$$

$$K = 0,78 * 0,842 * 0,814 * 1 * 1 * 1$$

$$K = 0,535$$

Determinado el valor de la resistencia a la fatiga $K = 0,535$ se reemplaza en la ecuación (40).

$$S_c = 0,5 S_u * k$$

$$S_c = 0,5 * 524 \text{Mpa} * 0,535$$

$$S_c = 140,17 \text{Mpa}$$

Coefficiente teórico de concentración de esfuerzos (K_t). Se puede definir el factor de concentración de esfuerzo teórico o geométrico K_t , pero primero es necesario conocer que significa el subíndice “t” el cual indica que este factor de concentración de esfuerzo depende sólo de la geometría de la pieza. Por lo tanto el material utilizado en la construcción de la pieza no tiene ningún efecto en el valor de K_t .

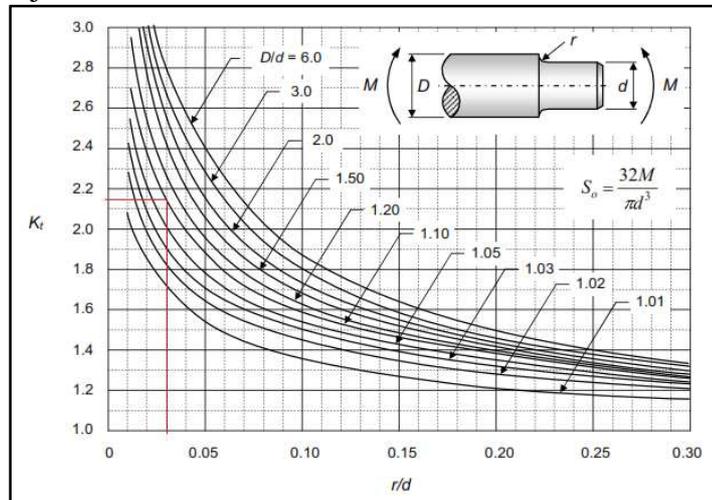
Esta es la razón por la que recibe el nombre de factor teórico de concentración de esfuerzos.

Para el presente trabajo es necesario conocer el coeficiente teórico de concentración de esfuerzo de un eje sometido a flexión, es por esto que se requiere conocer la relación que existe entre el diámetro mayor del eje y el diámetro menor del mismo, también se necesita conocer la relación entre el radio de discontinuidad y el diámetro menor.

$$\frac{D}{d}; \frac{35\text{mm}}{31\text{mm}} = 1,13 \quad (44)$$

$$\frac{r}{d}; \frac{1\text{mm}}{31\text{mm}} = 0,03 \quad (45)$$

Figura 19. Eje de sección circular con cambio de sección sometido a flexión.



Fuente: VANEGAS Libardo. Diseño de elementos de máquinas. Apéndices. Pág. 22.

Mediante la gráfica se determina un K_t de 2,1 aproximadamente.

Factor de concentración de esfuerzos por fatiga (K_f). El factor de concentración de esfuerzos por fatiga K_f , es un valor que multiplica al esfuerzo nominal con el fin de obtener un valor “corregido” del esfuerzo, que tenga en cuenta el efecto de la discontinuidad. Este factor se aplica al esfuerzo alternativo.

De acuerdo con estudios experimentales, K_f depende de algunos parámetros entre los cuales tenemos el coeficiente teórico de concentración de esfuerzos “ K_t ”, el material con el que está hecha la pieza y el radio “ r ” de la discontinuidad.

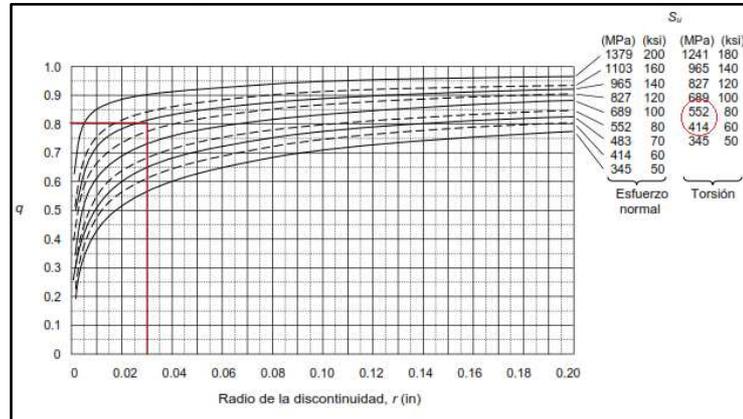
Para tener en cuenta estos dos últimos, se define el índice de sensibilidad a la entalla “ q ” el cual es un coeficiente cuyo valor representa qué tan sensible es el material a la discontinuidad de radio r o qué tanto se afecta su resistencia a la fatiga.

El coeficiente q varía desde 0, cuando el material no tiene sensibilidad a la discontinuidad, hasta 1, cuando el material es totalmente sensible a ésta, y se lo utiliza para definir el K_f mediante la siguiente ecuación.

$$K_f = 1 + q(K_t - 1) \quad (46)$$

Donde el índice de sensibilidad “q” se determina mediante la figura 20 utilizando el radio de discontinuidad “r” y el esfuerzo ultimo de torsión S_u .

Figura 20. Índice de sensibilidad.



Fuente: VANEGAS Libardo. Diseño de elementos de máquinas. Cap. 5. Pág. 23

Visualizando en la figura de índices de sensibilidad para aceros se pudo determinar un valor aproximado para $q = 0,8$.

Sustituyendo todos los valores en la ecuación de factor de concentración de esfuerzos por fatiga se obtiene lo siguiente.

$$K_f = 1 + 0,8(2,1 - 1)$$

$$K_f = 1,88$$

Reemplazando en la ecuación del factor de seguridad tenemos.

$$N = \frac{\pi(0,035)^3}{32} \left[\left(1,88 \frac{153,24Nm}{140,17 \times 10^6 pa} \right)^2 + \frac{3}{4} \left(\frac{59,94Nm}{290 \times 10^6 pa} \right)^2 \right]^{-1/2}$$

$$N = 4,209 \times 10^{-6} (4,22 \times 10^{-12} + 3,20 \times 10^{-14})^{-1/2}$$

$$N = 2.04$$

Se verifica que el diámetro del eje seleccionado es adecuado, ya que el factor de seguridad N es igual a 2.04, y el factor mínimo para diseño de eje es 1,8.

CAPÍTULO IV

4. CONSTRUCCIÓN DEL PROTOTIPO DE LA MÁQUINA CENTRIFUGADORA VERTICAL

Partes constitutivas del prototipo de la máquina centrifugadora vertical.

Tabla 12. Componentes de la máquina

Elementos	Cantidad	Tipo
Estructura	1	Ipac tubo cuadrado 1 1/2 in x 1/8in
	1	Angulo 1 1/2in x 1/8in
Coquilla	1	Acero AISI 1018 159 mm x 430 mm
Porta coquilla	1	Acero AISI 1018 200 mm x 130 mm
Plato giratorio	1	Acero ASTM A36 210 mm x 20mm
Pernos	3	SAE 3/8 in x 2 in
Eje	1	Acero transmisión ASTM 1040 45mm x 230 mm
Manzana	1	Acero ASTM A 36 20 mm x 12,7 mm
	1	Acero AISI 1018 136 mm x 90mm
Pernos	4	SAE 3/8 in x 1 in
Tuercas hexagonales	4	SAE 3/8in
Rodamientos	2	NTN 6207 zz
Soporte de manzana	1	Acero ASTM A36 700mm x 5 mm
Rueda dentada	1	18 dientes, paso ASI 1/2 in
Cadena	1	Challenge 40 – 1r x 10ft
Rueda dentada	1	30 dientes, paso ASI 1/2 in
Reductor	1	Reductor 1:50, 1 hp
Bocín	1	Acero transmisión ASTM 1040 25 mm x 75 mm
Motor	1	Motor monofásico weg 0,5 hp
Soporte	2	Soporte reductor, ángulo 1 1/2 in
Pernos	8	SAE 1/4 in x 3/8in
Prisioneros	4	SAE 1/4 in x 3/8in
Arandelas	16	SAE 5
Cable concéntrico	1m	Da 48 # 4 x 12

Tabla 12. (Continuación)

Pulsador guarda motor	1	Pulsador on/of trifásico 15 A
Cable	4m	Cable gemelo # 14
Enchufe	1	Monofásico 220 V
Regatones	4	Polipropileno 1 1/2in x 1 ½ in

Fuente: Autores.

4.1 Construcción del prototipo

Operaciones mecánicas de construcción

Las operaciones mecánicas son las destinadas a construir la parte mecánica de una máquina, ya que la variedad de las máquinas es tan grande y sus aplicaciones son tan diversas que en la mayoría de los casos constituyen elementos únicos que deben ser contruidos partiendo de materiales en bruto o materia prima.

En la instalación de máquinas también se desarrollan actividades mecánicas aparte de las desarrolladas en el proceso de construcción.

El mecanizado es una técnica que tan solo puede ser llevada a cabo por profesionales formados. Su objetivo primordial es la fabricación de piezas a partir de materiales en bruto mediante el uso de las denominadas máquinas-herramientas.

Hay que tener claro que mediante la combinación de diferentes técnicas pueden ser fabricadas prácticamente todo tipo de piezas tanto mecánicas como electrónicas, aunque la incursión de nuevas tecnologías en el mercado nacional ha generado la inclusión de nuevas formas de trabajo, de cualquier forma las técnicas más utilizadas en nuestro medio son las básicas tales como:

- Tornear. Se utiliza para la fabricación de formas de revolución.
- Fresar. Se llevan a cabo mediante esta técnica la realización de planos, ángulos, ranuras y agujeros.
- Rectificar. Tanto para piezas de revolución como para el resto de aplicaciones se utiliza esta técnica para obtener acabados de gran precisión y baja rugosidad.

El taladrado es la operación en la que se trata de abrir un agujero redondo en una pieza por medio de una herramienta giratoria y se puede hacer de tres maneras.

- La herramienta gira y se adelanta mientras la pieza permanece fija.
- La herramienta no gira y adelanta mientras la pieza gira.
- La herramienta y la pieza giran en sentido contrario mientras la última se adelanta.

Para realizar el taladrado en buenas condiciones hay que tener en cuenta que.

- Las brocas se deben elegir según el material a taladrar.
- Las revoluciones serán elegidas en función del tipo de broca, material y diámetro del agujero.
- El taladrado debe ser llevado a cabo en condiciones de limpieza y seguridad.

La soldadura es una disciplina que requiere una altísima especialización, sobre todo en los casos en que se realice la unión de elementos constitutivos de partes estructurales de la máquina.

Existen muchos tipos de soldadura, pero las más usadas son las que utilizan el aporte de material para la realización de la misma. A la hora de realizar una soldadura se debe tener en cuenta que los materiales a unir tengan iguales características y que exista en el mercado un fundente apropiado para la realización de la misma.

Previamente para iniciar la construcción del prototipo de la máquina, se analiza que procesos se van a tomar en cuenta para conseguir su fin y los que se ajustan a la necesidad del prototipo son: corte, torneado y soldadura, previos al montaje, instalación y funcionamiento de la misma.

Estos procesos requieren un conocimiento en el manejo de máquinas herramientas por lo cual se realiza un análisis que involucran los procesos antes mencionados y también se toma en cuenta los riesgos que estos tienen, por tanto se considera la seguridad e higiene industrial como fundamental en estos procesos ya que los riesgos en estas operaciones son inminentes.

Tabla 13. Procedimiento de construcción.

		A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P
Realizar una lista de materiales a utilizar.																	
Adquisición de materiales, equipos y elementos de sujeción.	B	X															
Mecanizado del molde.	C		X	X	X												
Mecanizado del plato giratorio.	D					X											
Mecanizado del anillo sujetador al molde.	E					X											
Mecanizado de la manzana.	F					X											
Mecanizado del eje.	G						X										
Construcción de la estructura de soporte de la máquina	H							X									
Construcción del soporte para el motorreductor.	I								X								
Ensamblaje del eje al plato giratorio	J									X							
Ensamblaje de la manzana a la estructura de soporte,	K										X						
Ensamblaje del anillo sujetador al plato giratorio.	L										X						
Ensamblaje del motor al reductor de velocidades.	M											X	X				
Colocación de las ruedas dentadas.	N													X			
Colocación de la cadena del eje al reductor.	O														X		
Instalaciones eléctricas	P															X	
Pruebas de funcionamiento.	Q																X

Fuente: Autores.

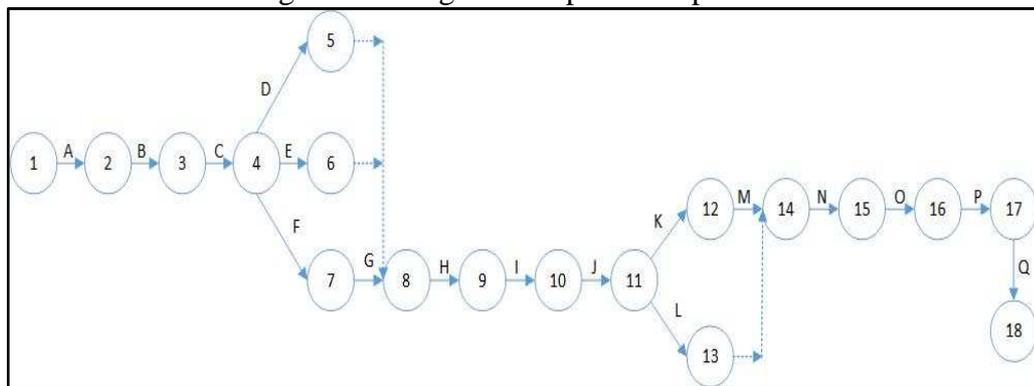
En la tabla 13 se detallan todas las operaciones realizadas para la construcción del prototipo de máquina centrifugadora vertical, iniciando desde el listado de materiales a utilizar luego la adquisición de todos los materiales para transportarlos al taller de construcción, la primera operación que se lleva a cabo es el torneado del molde luego el del plato giratorio, del anillo sujetador, de la manzana y del eje, posteriormente se realiza la construcción de la estructura de soporte de la máquina y la construcción de un soporte para el reductor de velocidades, una vez culminado todos los proceso de construcción se empieza con el montaje de todos los elementos.

Primero se instalan los rodamientos en la manzana para ensamblarla a la estructura de la máquina luego se realiza la unión del eje y la placa base del plato giratorio para ensamblarlos a la manzana, se instala la rueda conducida en el eje y la rueda conductora en el reductor de velocidades, ensamblamos el motor y reductor a la estructura de

lamáquina, se instala la cadena entre la rueda conductora y la conducida se realizan las instalaciones eléctricas en el motor y por último se coloca la coquilla o molde en el plato giratorio y se realizan las pruebas de funcionamiento.

Diagrama Pert. Los diagramas Pert son útiles para seguir el tiempo y los recursos necesarios para completar un objetivo, así como para mantener en perspectiva la secuencia correcta de todas las tareas.

Figura 21. Diagrama de proceso tipo Pert.



Fuente: Autores

4.1.1 Corte. Para realizar la construcción del prototipo tenemos que realizar diferentes cortes de los materiales que se utilizarán en la elaboración de la estructura y soportes de las diferentes partes que constituyen la máquina, para ello se tomó en consideración el tipo de material a utilizar y por ende la maquinaria adecuada para realizar el corte, se utilizó sierras eléctricas y amoladores con disco de corte.

Figura 22. Corte y esmerilado.



Fuente: Autores

4.1.2 Torneado. Esta operación es indispensable en la construcción de los elementos de la máquina, ya que el molde por ser cónico debe poseer medidas exactas, también en la construcción del eje que tiene diferentes medidas con sus respectivas tolerancias para el ajuste de los rodamientos, el dimensionamiento de la manzana, el plato giratorio, el anillo sujetador todos estos elementos tienen su tolerancia y es vital realizar cilindrados y refrentados.

Con la finalidad de obtener un dimensionamiento con un ajuste de acuerdo a la norma de construcción, y para dar un buen acabado superficial como se aprecia en la elaboración del molde, debido a que va a soportar un peso considerable, se realizó la construcción de la manzana que alberga dos rodamientos en su interior, para ello se realizó un cilindrado con un acabado N8. Esto se aprecia en los anexos.

En la construcción del plato giratorio y el anillo sujetador, estos elementos tienen un acabado superficial N7, en el caso del anillo sujetador éste tiene un ajuste considerable ya que sujeta al molde y tiene que salir con facilidad.

Figura 23. Torneado.



Fuente: Autores

4.1.3 Soldadura. La operación de soldadura se utiliza para la unión de los diferentes elementos que componen la máquina centrifugadora vertical, tales como la estructura, la unión de los elementos de la manzana y la unión entre el eje de transmisión y la base del plato giratorio, esto se lo realizó bajo el proceso de soldadura SMAW arco eléctrico con electrodos revestidos 6011.

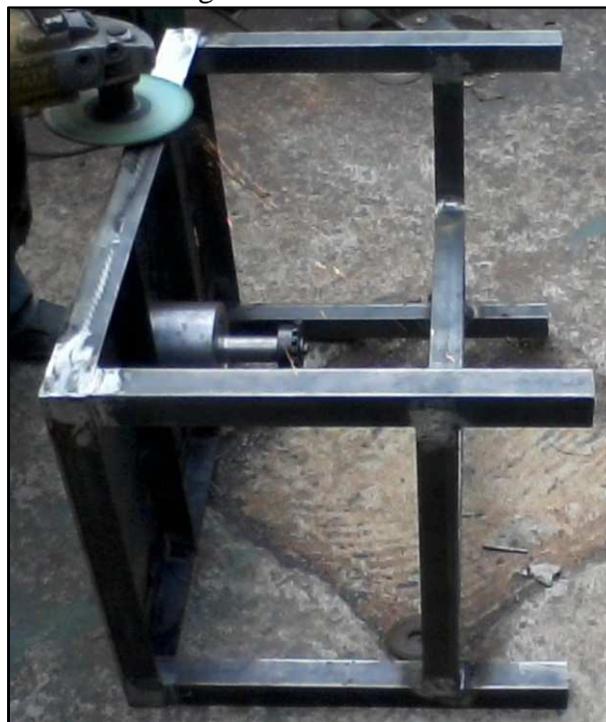
Cabe mencionar que éste electrodo es apto para ser utilizado en todas las aplicaciones de soldadura en acero con bajo contenido de carbono, especialmente en trabajos donde se requiera penetración.

El arco puede ser dirigido fácilmente en cualquier posición, permitiendo altas velocidades de deposición y manteniendo un acabado adecuado.

Para obtener una buena calidad de acabado en los cordones de soldadura se debe tener en cuenta lo siguiente:

- Provee una atmósfera controlada.
- Agregan elementos a la aleación.
- Previene la corrosión y retardan el enfriamiento.
- Ángulo adecuado de posición de soldadura.
- Ambiente libre de humedad.
- Evitar que el material base esté contaminado.
- Electrodo en buen estado.
- Enfriamiento lento para aliviar tensiones.

Figura 24. Soldadura.



Fuente: Autores

4.2 Montaje de los elementos de la máquina centrifugadora vertical

Debido a la diversidad de aplicaciones para las cuales se utiliza las máquinas industriales, en su construcción se utilizan normalmente combinaciones de técnicas, a la hora de realizar una intervención sobre una máquina industrial, ya sea modificación, mantenimiento o montaje de la misma, es indispensable el conocimiento de todas ellas.

Para realizar el montaje e instalación de una máquina, el personal de instalación se enfrentará en la mayoría de las ocasiones a un trabajo multidisciplinar que requiera destreza y dominio de las técnicas que en cada caso son requeridas.

Las técnicas mas utilizadas en la actualidad para la fabricación de máquinas industriales son la mecánica, neumática, hidráulica y eléctrica.

En cuanto a la electrónica, se desestima su explicación, pues no constituye en sí objeto de trabajo de un instalador de máquinas industriales ya que su puesta a punto se realiza normalmente por los usuarios de las mismas. En cuanto a la conexión o puesta en servicio del conjunto de aparatos electrónicos, no implica la manipulación previa a la puesta en marcha de la máquina industrial.

Montaje de elementos de máquinas

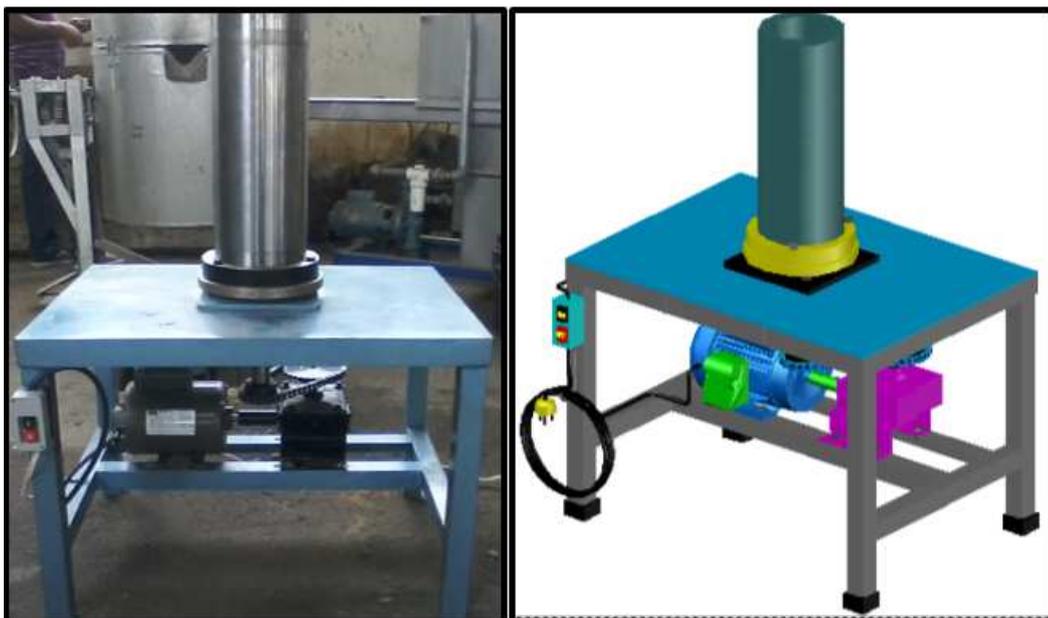
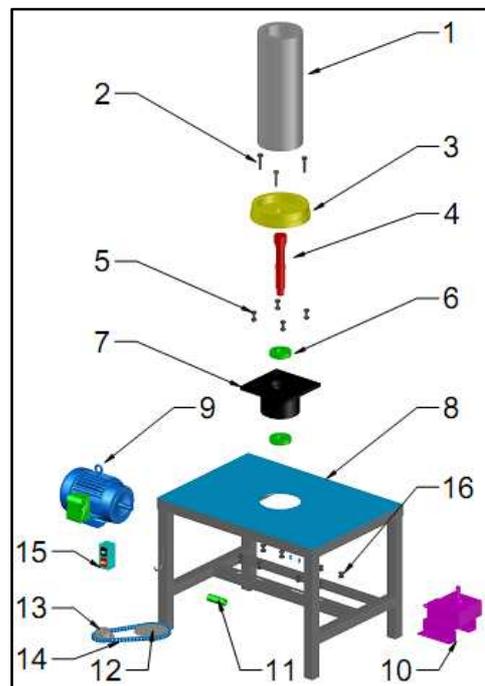
Obviando las particularidades de cada uno de los elementos, es posible decir que existen unas normas comunes para el proceso de montaje de elementos mecánicos que son las siguientes.

- No se deben forzar, en ningún caso debe ser montado un elemento neumático que no entre en su alojamiento con el ajuste solicitado por el proyectista. En los casos en que se necesiten encajes forzados según especificaciones, se llevarán a cabo mediante el uso de medios adecuados que sometan al elemento a soluciones adecuadas, nunca con golpes.
- Se deben usar las herramientas apropiadas, en mecánica industrial existe una herramienta para cada función. En caso de que exista una urgencia y no se tiene la

herramienta adecuada debemos usar la que más simule su funcionamiento. En ningún caso utilizaremos herramientas en mal estado que marquen o rayen los elementos a montar.

- Se deben usar los lubricantes y grasa adecuadas, en todo momento se han de respetar las indicaciones de los fabricantes en cuanto a características de las grasas y lubricantes.

Figura 25. Despiece de la máquina.



Fuente: Autores

Tabla 14. Partes constitutivas de la centrifugadora vertical

Nº DE ELEMENTOS	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
1	Coquilla	1
2	Pernos de sujeción al plato giratorio SAE 3/8 x 2"	3
3	Plato giratorio	1
4	Eje	1
5	Pernos de sujeción a la manzana SAE 3/8 x 1"	4
6	RodamientosNTN 6207 zz	2
7	Manzana	1
8	Estructura	1
9	Motor monofásico Weg 0,5 HP	1
10	Reductor de velocidades 1:50 1 HP	1
11	Bocín	1
12	Rueda dentada conductora	1
13	Rueda dentada conducida	1
14	Cadena	1
15	Pulsador guarda motor	1
16	Pernos de sujeción motor y reductor SAE 1/4 x 1"	8

Fuente: Autores

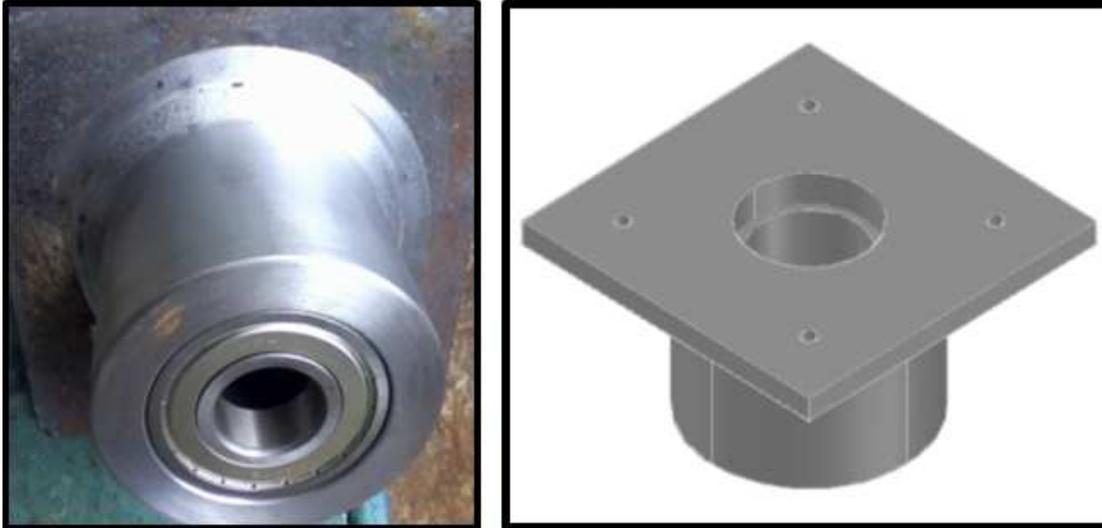
En la tabla 14 se describen todos los componentes del prototipo de máquina.

4.2.1 Montaje de la manzana a la estructura. En cuanto al montaje de la manzana a la estructura se ha utilizado cuatro pernos de cabeza hexagonal de acero G8 SAE de 3/8" X 1", el cual ofrece mayor sujeción a la estructura.

En el interior de la manzana alberga dos rodamientos de bolas con especificación 6207zz, éstos van a dar movimiento al eje, éste tiene una tolerancia H6 j5, el cual da un correcto apriete al eje y una buena sujeción en la manzana.

El paralelismo existente entre los dos rodamientos da una linealidad al giro del eje y no exista cabeceo, dada las características de los rodamientos éstos soportan altas temperaturas y evitan fricciones.

Figura 26. Manzana y rodamientos.



Fuente: Autores

4.2.2 Montaje del plato giratorio y eje. Se ha utilizado una operación de soldadura SMAW entre el eje y el plato giratorio, así mismo para la unión de la placa base al anillo sujetador con tres pernos hexagonales de 3/8" X 2" de acuerdo a los requerimientos de tabla.

El eje está construido de acero de transmisión y esta soldado al plato giratorio, alineado y su tolerancia con respecto a los rodamientos es H6 j5, dando un apriete considerable para que no exista cabeceo.

Figura 27. Plato giratorio, sujetador del molde y eje.

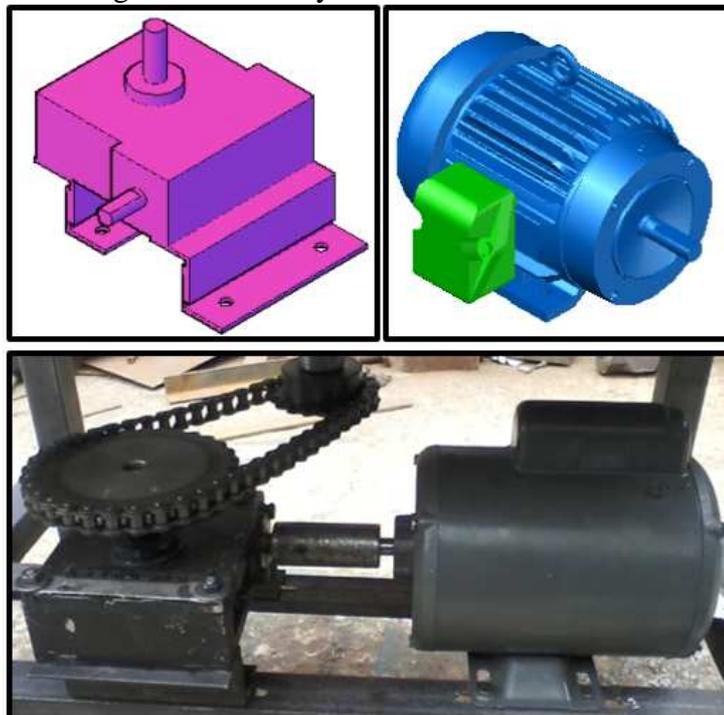


Fuente: Autores

4.2.3 Montaje del motor y reductor de velocidades. Siendo el motor el principal elemento del sistema de transmisión, éste fue ubicado con un sistema de regulación en la base de la estructura, de tal forma que se puede variar su distancia con el reductor de velocidades, esto ayuda a que podamos realizar el tensionado de la cadena sin ningún inconveniente y de una manera fácil.

El reductor de velocidades es de 1:50 de capacidad 1 HP que está acoplado con el motor con un bocín, para evitar vibraciones se niveló con un soporte al reductor de velocidades y se realizó un sistema de regulación para poder tensionar la cadena.

Figura 28. Motor y reductor de velocidades.

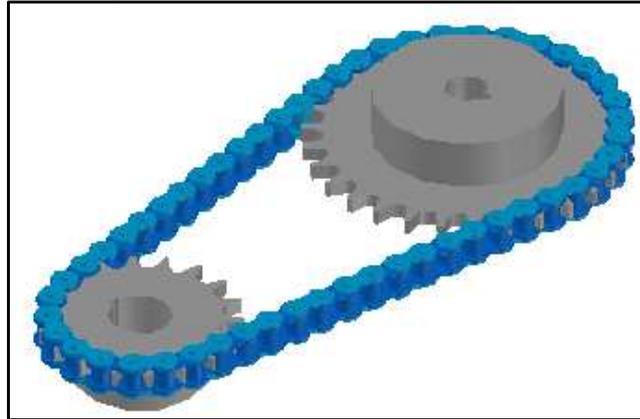


Fuente: Autores

4.2.4 Montaje de ruedas dentadas y cadena. Las ruedas dentadas tanto la conducida como la conductora son de paso de 1/2 pulgada las cuales están sujetadas con una chaveta y chavetero con un apriete H7 y para colocar la cadena se moviliza todo el sistema de motor y reductor.

La limpieza y lubricación tanto de la cadena como de las ruedas dentadas son factores determinantes en el sistema de transmisión también se toma en cuenta el paralelismo de las ruedas dentadas para que no exista descarrilamiento ni vibraciones.

Figura 29. Ruedas dentadas y cadenas



Fuente: Autores

4.2.5 Montaje del molde. En cuanto al montaje de la coquilla, se debe colocar de forma perpendicular al plato giratorio, esto para cuando se realice el precalentamiento la dilatación sea uniforme en todas sus direcciones.

Tanto el acabado superficial como la angularidad que tiene en el interior del molde son fundamentales en el mismo, sin ellos la extracción del eje cilíndrico de aluminio no se llevaría a cabo con facilidad.

Figura 30. Molde o coquilla



Fuente: Autores

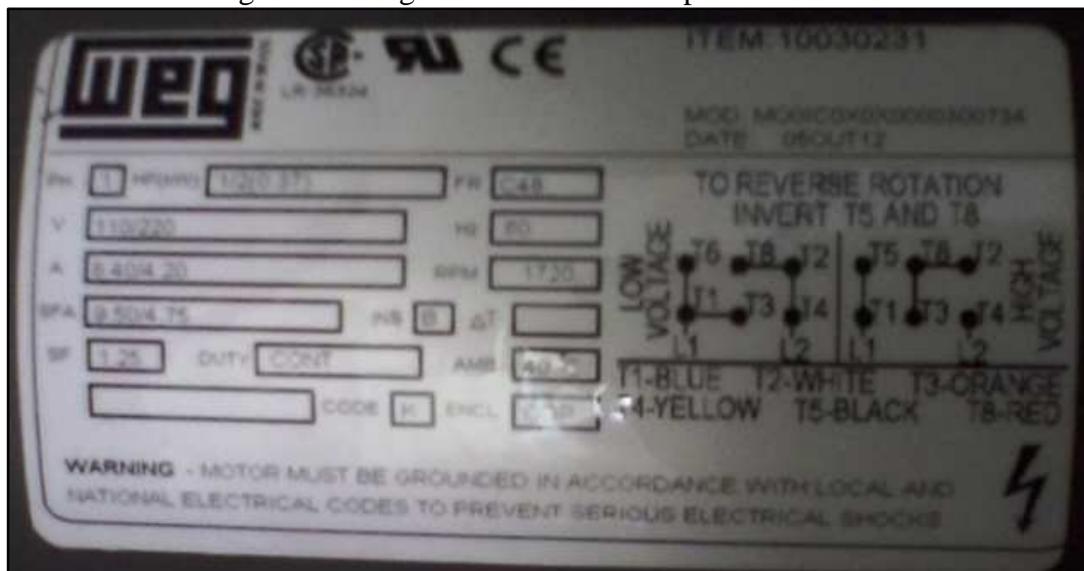
4.2.6 Instalación de la transmisión por cadena. En la transmisión por cadena influirá directamente su eficiencia y funcionamiento para ello tenemos los siguientes pasos a seguir:

- Mantener sólidamente las ruedas dentadas sobre los ejes, emplear chavetas y prisioneros.
- Alinear con sumo cuidado las ruedas dentadas.
- Prever la variación de la distancia entre centros, para facilitar las prácticas de mantenimiento y ajuste de la tensión.
- No colocar cadenas nuevas sobre las ruedas dentadas usadas o viceversa, esta práctica deteriora o incrementa el desgaste prematuro en los elementos nuevos.

4.2.7 Conexiones eléctricas del motor. En las conexiones eléctricas del motor se tomó en consideración factores como:

- Correcta identificación de los polos del motor
- Configurar el ingreso de energía al motor de 110 Voltios a 220 Voltios usando el diagrama correspondiente ubicado en la placa de características.

Figura 31. Diagrama eléctrico de la placa del motor



Fuente: Autores

4.3 Seguridad en la operación del prototipo.

4.3.1 Concepto de Seguridad Industrial. Conjunto de técnicas y actividades destinadas a la identificación, valoración y control de las causas o condiciones de trabajo que pueden generar accidentes en el trabajo, daños a la propiedad y esto genera retrasos en la producción.

4.3.2 *El puesto de trabajo.* Es el lugar que un trabajador ocupa cuando desempeña un trabajo, puede estar ocupado todo el tiempo o ser uno de los varios lugares en que efectúa un trabajo, ejemplo cabinas o mesas de trabajo desde las que se manejan máquinas, el tendido de tubería.

Es importante que el puesto de trabajo esté bien diseñado para evitar enfermedades relacionadas con condiciones laborales deficientes, así como para asegurar que el trabajo sea productivo.

Como no se puede determinar donde empiezan y terminan las tareas vinculadas con el trabajo que se va a realizar, es preciso crear un ambiente seguro de trabajo dentro del taller, con tal de evitar un accidente o incidente debemos hacer un análisis profundo de las posibles causas y factores que los pueden generar.

4.3.3 *Condiciones y medio ambiente de trabajo.* Son elementos, agentes o factores que tienen influencia en la generación de riesgos para la seguridad y salud del trabajador. Incluyen.

- Características generales de los locales, instalaciones, equipos, productos y útiles.
- Naturaleza de los agentes físicos, químicos, biológicos, ergonómicos, psicosociales u organizacionales y mecánicos presentes en el ambiente o producidos por el trabajo.
- Procedimientos para el manejo de estos agentes que influye en la generación de riesgos.

4.3.4 *Factores esenciales para la producción.* Un accidente es el resultado de una falla en la aplicación de estos actores y a menudo es la causa de otros problemas de operación.

- EQUIPOS. Selección, arreglo o disposición, uso y mantenimiento.
- MATERIAL. Selección, disposición, manejo y proceso.
- GENTE. Selección, ubicación, instrucción, supervisión.

4.3.5 Registro de accidentes Es necesario en el presente trabajo investigativo realizar un registro de posibles accidentes que se van a suscitar ya que se está expuesto a temperaturas considerablemente altas.

Los registros de los accidentes son tan esenciales si se quiere que el trabajo que se haga para prevenir accidentes sea eficiente y tenga éxito, como los registros de producción, costos, ventas son esenciales para tener éxito en los negocios.

Las estadísticas permiten obtener conclusiones sobre la evolución de la accidentalidad y servir de base para la elaboración de planes de seguridad y para el juzgamiento de la efectividad de esos planes.

La estadística para la prevención de accidentes tiene una variedad de utilidades, todo a partir de la investigación y análisis de accidentes. La clase de accidente, naturaleza de la lesión, parte del cuerpo lesionada, promedio de días perdidos por lesiones incapacitantes y otros datos pueden obtenerse para efectuar la prevención de los accidentes, el uso de las estadísticas de los accidentes permite aumentar los conocimientos de seguridad de los involucrados en estas actividades.

Lo que ocasiona un accidente o incidente dentro de un taller industrial puede estar ocasionados por la combinación de factores humanos y técnicos como son:

Factores humanos y técnicos

- Psicológicos.
- Fisiológicos.
- Sociológicos.
- Económicos.
- Organización.

Estos factores pueden causar un accidente o incidente una vez producido el disfuncionamiento en cualquiera de ellos. Los elementos cuyo disfuncionamiento puede causar un accidente o incidente son:

- El individuo.
- La tarea.
- Material y equipo.
- Medio ambiente o lugar de trabajo.
- Entorno.

4.3.6 *Seguridad en los procesos.* Antes de realizar cualquier trabajo es necesario un análisis general de todos los equipos a utilizarse de esta forma crear un sistema hombre-máquina que sea eficiente, también un análisis y evaluación del entorno.

Una vez determinadas las necesidades y realizado un análisis de operaciones, se procede a definir las características de la máquina en función de los siguientes factores:

- Operario.
- Producción.
- Tiempo.

La selección del equipo y el uso adecuado ayudará que la tarea que vaya a desarrollarse tenga éxito y sea eficiente.

4.3.7 *Seguridad en el Taller de Fundición.* Una vez dentro del taller de fundición existen muchos riesgos y peligros que están asociados a los diversos factores y entre ellos se encuentran.

- Ambiente cerrado.
- Desprendimiento de gases y vapores.
- Ambiente caliente.
- Propensos de quemaduras.

Para la realización de las pruebas de funcionamiento y posterior operación del prototipo de la máquina centrifugadora vertical, se pueden producir quemaduras por el aluminio fundido, la escoria, los derrames, las salpicaduras y por explosiones del metal caliente durante su transformación.

También durante el encendido del crisol por el contacto del combustible y la flama, tener en cuenta que se puede producir quemaduras.

En el transporte y colado al molde puede darse contacto directo con el metal fundido ya que al verter el molde también está expuesto a altas temperaturas.

Por estas razones es indispensable que no haya humedad tanto en el molde como en la cuchara que transporta el metal fundido porque estos pueden generar fuerzas explosivas que hagan saltar el metal caliente en una amplia zona, las herramientas que se ingresan en el aluminio fundido como el pirómetro debe estar siempre libre de humedad para evitar explosiones.

En el taller de fundición se deben cumplir con todas las recomendaciones de seguridad para evitar riesgos, para ello se ha especificado unas recomendaciones a seguir:

- Verificar que las conexiones eléctricas estén en buen estado y evitar su contacto.
- Los combustibles deben estar almacenados a una distancia prudencial para evitar salpicaduras de los materiales incandescentes.
- La utilización de los EPP, equipos de protección personal.
- Eliminar los obstáculos en las zonas de circulación para evitar tropiezos.
- Verificar que los equipos contra incendios extintores estén operativos caso contrario reemplazarlos.
- Siempre tener a mano un equipo de primeros auxilios.

4.3.8 *Los equipos de protección personal.* Los EPP equipos de protección personal, son de vital importancia en estos tipos de trabajo ya que está expuesto a riesgos altos de quemaduras.

Los requisitos generales del equipo de protección personal de OSHA exigen que los empleadores lleven a cabo una evaluación de los riesgos en sus lugares de trabajo para identificar los riesgos que existen y que requieran el uso del equipo de protección personal, para brindar adecuadamente y exigir que estos mismos hagan uso del equipo además de mantener en condiciones sanitarias y fiables.

El uso del equipo de protección personal suele ser esencial, pero es generalmente la última alternativa luego de los controles de ingeniería, de las prácticas laborales y de los controles administrativos.

Los controles de ingeniería implican la modificación física de una máquina o el ambiente de trabajo. Los controles administrativos implican modificar como y donde los individuos realizan sus tareas, tales como los horarios de trabajo y la rotación de trabajadores con el fin de reducir la exposición.

Las prácticas laborales implican la capacitación de los trabajadores en la forma de realizar tareas que reducen los peligros de exposición en el lugar de trabajo (OSHA, 2010)

Protección de pérdida auditiva

Utilizar tapones para oídos u orejeras puede ayudar a protegerlos de la exposición a altos niveles de ruidos, pueden causar pérdidas o discapacidades auditivas irreversibles así como estrés físico o psicológico.

Los tapones para oídos de material alveolar, de algodón encerado o de lana de fibra de vidrio son fáciles de ajustar correctamente. Tapones de oídos moldeados o preformados deben ser adecuados a los trabajadores que van a utilizarlos y con regularidad deben estar limpios.

Protección de lesiones de las manos

Los trabajadores expuestos a sustancias nocivas mediante absorción por la piel a laceraciones o cortes profundos, abrasiones serias, quemaduras químicas, térmicas y temperaturas extremas, deben proteger sus manos.

Protección de lesiones a todo el cuerpo

En ciertos casos los trabajadores deben proteger la mayor parte de o todo su cuerpo contra los peligros en el lugar de trabajo como en el caso de exposición al calor,

radiación así como en contra de materiales calientes, líquidos hirvientes y orgánicos.

Además de los materiales de algodón y de lana que retardan el fuego, materiales utilizados en el equipo de protección personal de cuerpo entero incluyen el hule, el cuero, los sintéticos y el plástico.

Protección de lesiones cerebrales

Los cascos pueden proteger de impactos al cráneo de heridas profundas y de choques eléctricos como los que causan los objetos que caen o flotan en el aire, los objetos fijos o el contacto con conductores de electricidad.

Así mismo, el reglamento de OSHA requiere que los trabajadores cubran y protejan el cabello largo con el fin que no se agarren en piezas de maquinaria como son correas y cadenas.

Protección de lesiones en los pies y las piernas

Además del equipo de protección de pies y de zapatos de seguridad, las polainas de cuero, rayón aluminizado u otro material adecuado pueden evitar lesiones y proteger de objetos que se caen o que rueden, objetos afilados, superficies mojadas, materiales fundidos, superficies calientes y peligros eléctricos.

Protección de lesiones a los ojos y a la cara

Gafas de seguridad y gafas protectoras de goma, además del equipo de protección personal tales como los cascos o protectores especiales, las caretas y protectores laterales pueden ayudar a proteger de impactos por fragmentos, astillas de gran tamaño, chispas calientes, radiación óptica, salpicaduras de metal fundido, arenas, vapores que puedan causar algún daño a la persona.

Protección respiratoria

Es recomendable utilizar equipo respiratorio para protegerse contra los efectos nocivos a la salud causados al respirar aire contaminado por polvos, vapores, gases, humos, emanaciones perjudiciales.

Generalmente el equipo respiratorio tapa la nariz y la boca, cara o cabeza entera ayudando a evitar lesiones o enfermedades cabe mencionar que para usar el equipo de protección respiratoria debe someterse primero a exámenes médicos de esta forma recomendar cuál de ellos usar. (OSHA, 2010)

Así para el caso de la seguridad, los EPP actúan fundamentalmente reduciendo las consecuencias derivadas de la materialización del riesgo, mientras que en el caso de la higiene industrial los equipos suelen actuar disminuyendo la concentración de contaminantes a la que está expuesto el individuo. En ambos casos, la eficacia protectora dependerá de la adecuación del EPP a los niveles de riesgo preexistentes.

Tomando en cuenta las especificaciones de seguridad y los reglamentos que exigen las normas se detalla los EPP más importantes para el trabajo de fundición:

- Overol manga larga UNE – EN 531.
- Zapatos de seguridad ASTM 2413 – 05.
- Mandil de cuero UNE – EN 531.
- Mangas de cuero OSHA 21 CFR.
- Mascarillas para vapores NTE INEM 2347; ANSI Z88.2 - 1992.
- Protección facial ANSI Z87.1 - 2003.
- Guantes de cuero OSHA 21CFR.

Como principio básico de actuación, los equipos de protección personal deberán utilizarse cuando existan riesgos para la seguridad o salud de los individuos que no hayan podido evitarse o limitarse suficientemente por medios técnicos de protección colectiva o mediante medidas, métodos, procedimientos de organización del trabajo.

Es decir, los equipos de protección personal son el último escalón de la secuencia de medidas de prevención o protección que se articulen para combatir el riesgo, este hecho no se debe a que este tipo de medidas sea menos importante que las demás. El principal motivo para anteponer otro tipo de medidas a la protección individual se debe a que la utilización de una protección personal supone establecer un contacto directo del individuo con el riesgo, sin que exista otra barrera (GARCÍA, 2010).

CAPÍTULO V

5. VERIFICACIÓN DEL FUNCIONAMIENTO DEL PROTOTIPO DE LA MÁQUINA CENTRIFUGADORA VERTICAL

5.1 Pruebas de funcionamiento del prototipo de la máquina centrifugadora vertical

Luego de haber realizado el ensamblaje de la máquina centrifugadora vertical se procedió a realizar las pruebas de funcionamiento las cuales se hicieron tres, y se detallan a continuación.

Prueba I

Descripción de la prueba

Ensamblada la máquina se procedió a encender el pulsador guardamotor y verificar el funcionamiento de la misma, de esta forma se cronometró las revoluciones por minuto que nos da sesenta, esta prueba se hizo con carga o sea colocado la coquilla.

Resultado de la prueba

El funcionamiento de la máquina fue satisfactorio no hubo desbalanceo ni vibraciones, el sistema de transmisión ruedas dentadas y cadena fue excelente ya que no existió ni descarrilamiento de la cadena ni ruidos, la adaptación del motor al reductor de velocidades también fue satisfactorio ya que no existió vibraciones ni calentamiento del motor, no existió sobre esfuerzos.

La máquina permaneció en movimiento veinte minutos y después se realizó interfaces de encendido y apagados durante unos treinta minutos con duraciones de diez minutos cada una, esto es aproximadamente dos veces el tiempo de calentamiento que va a soportar en trabajo continuo.

Figura 32. Prueba I



Fuente. Autores

5.2 Prueba de funcionamiento del prototipo de la máquina centrifugadora vertical bajo carga

Una vez verificado el correcto funcionamiento de los elementos de transmisión, se procede a realizar las pruebas bajo carga, es decir la operación y funcionamiento en la fabricación de los cilindros macizos de aluminio. Para la fundición de aluminio y tomar las temperaturas se utilizó un horno de crisol y un pirómetro de inmersión existentes en el taller de fundición de la Facultad de Mecánica de la ESPOCH.

Figura 33. Pirómetro de inmersión y horno de crisol.



Fuente. Autores

Prueba II

Descripción

Para realizar el llenado de la colada de aluminio en la coquilla, ésta debe ser precalentada a 200 °C, para que no exista un choque térmico, el material fundido que sale del horno está a una temperatura de 786 °C, y es vertido en una cuchara recubierta con cemento refractario para ser vertido en la coquilla.

El tiempo de llenado de la colada de aluminio en el molde fue de veinte segundos con una velocidad continua.

Resultado de la prueba

El resultado de la prueba fue parcialmente bueno, el eje macizo de aluminio se trabó en el molde por falta de angularidad y hendiduras existentes en el mecanizado del molde. Con el colado uniforme y el precalentamiento de la coquilla, el resultado del eje cilíndrico de aluminio es satisfactorio ya que el rechupe existente está dentro de lo establecido, y como se esperaba se eliminó porosidades en la fundición.

Figura 34. Prueba II.



Fuente. Autores

Prueba III

Descripción

Una vez corregida la angularidad que se aumentó a 0,3 grados y un acabado superficial N7 se eliminó todas las superficies rugosas en el interior del molde, se procedió a realizar la fundición.

El precalentamiento del molde se realizó a una temperatura de 350 °C, uniforme en toda la coquilla, se elevó la temperatura de la colada de aluminio a 800 °C, y se vertió en el molde con un llenado continuo de 25 segundos, en un tiempo de permanencia de 3 minutos a una velocidad constante de giro de 58 rpm.

Resultado de la prueba

Como el llenado fue uniforme y con un tiempo de llenado más prolongado, el rechupe fue menor quedando aproximadamente 3 centímetros de la parte superior. El eje cilíndrico de aluminio fue lo esperado, su extracción fue fácil como se preveía, cumpliendo así los requerimientos estipulados, dando un mejoramiento en la calidad de fundición y cumpliendo con los objetivos planteados.

Figura 35. Prueba III.



Fuente. Autores

Teniendo que, en la prueba III los resultados son los esperados se realizó una tabla con los tiempos de llenado y enfriado, también la temperatura que se ha vertido en el molde.

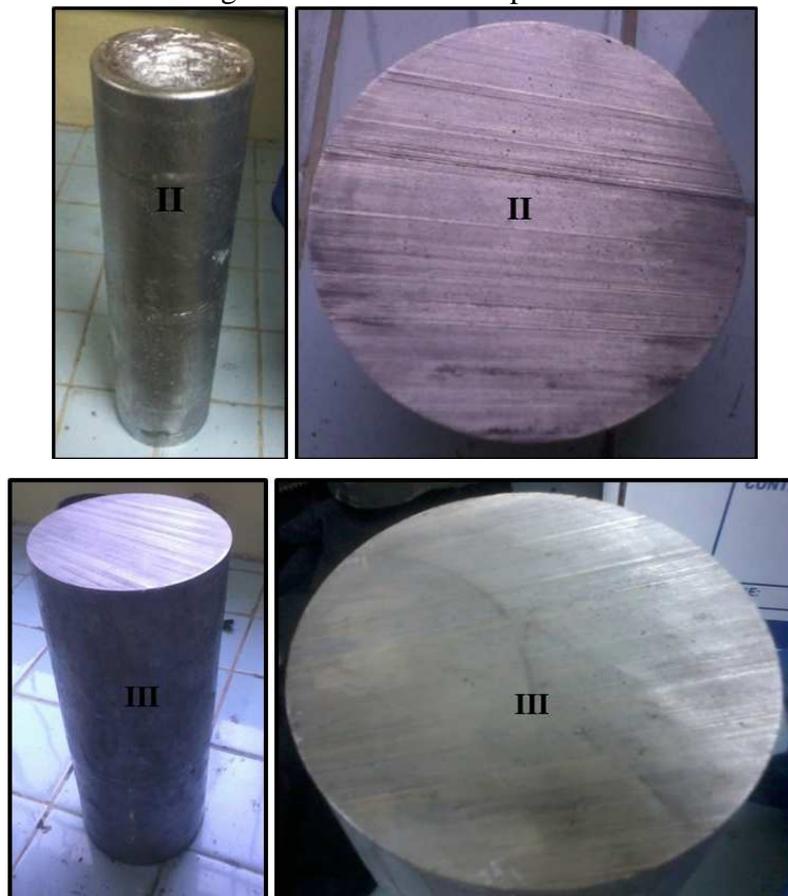
Tabla 15. Tiempos de llenado y enfriado

DENOMINACIÓN	PRUEBA II	PRUEBA III
Temperatura del molde (°C)	200	350
Temperatura del crisol (°C)	786	800
Tiempo de vertido (s)	20	25
Tiempo de enfriado (s)	300	180
Velocidad de colado y enfriado (rpm)	59	59

Fuente. Autores

A continuación se detallan imágenes con los resultados obtenidos de las pruebas realizadas.

Figura 36. Resultado de pruebas



Fuente. Autores

CAPÍTULO VI

6. COSTOS

Se realizó un análisis general de costos que intervinieron en la construcción del prototipo de la máquina centrifugadora vertical.

6.1 Costos directos

En el análisis de costos directos se toman en cuenta cargos como materiales, mano de obra y transporte, éstos influyeron directamente en la construcción del prototipo por lo que se detallan a continuación.

Tabla 16. Costos directos

Descripción	Cantidad	Unidad	Valor Unitario	Valor Total
MATERIALES				
Ipac tubo cuadrado 1 1/2 in x 1/8in	4	Metro	2,50	10,00
Ángulo 1 1/2in x 1/8in	6	Metro	2,07	12,42
Barra perforada AISI 1018 159 x 43 mm	1	Unidad	236,00	236,00
Barra perforada AISI 1018 200 x 32 mm	1	Unidad	23,47	23,47
Acero ASTM A36 Ø 210 x 20m	1	Unidad	19,00	19,00
Pernos SAE 3/8 in x 2 in	3	Unidad	0,50	1,50
Acero Transmisión ASTM 1040 45x40mm	1	Unidad	12,59	12,59
Acero ASTM A36 20 x 20 x 12,7 mm	1	Unidad	10,00	10,00
Barra perforada AISI 1018 136 x 90 mm	1	Unidad	31,00	31,00
PernosSAE 3/8 in x 1 in	4	Unidad	0,40	1,60
Tuercas de cabeza hexagonal SAE 3/8in	4	Unidad	0,25	1,00
Rodamientos NTN 6207 zz	2	Unidad	13,80	27,60
Acero ASTM A36 700 x 500 x 5 mm	1	Unidad	32,00	32,00

Tabla 16. (Continuación)

Rueda dentada 18 dientes, paso ASI ½ in	1	Unidad	11,00	11,00
Rueda dentada 30 dientes, paso ASI ½ in	1	Unidad	13,00	13,00
Cadena CHALLENGE 40 – 1R x 10ft	1	Unidad	22,00	22,00
Reductor de velocidades 1:50, 1 HP	1	Unidad	95,00	95,00
Acero transmisión ASTM 1040 25 x 75 mm	1	Unidad	1,50	1,50
Motor monofásico WEG 0,5 HP	1	Unidad	100,00	100,00
Pernos SAE ¼ in x 3/8in	8	Unidad	0,25	2,00
Arandelas SAE 5 ¼ in	16	Unidad	0,12	1,92
Prisioneros SAE ¼ in x 3/8in	4	Unidad	0,65	2,60
Cable concéntrico DA 48 # 4 x 12	1	Metro	1,25	1,25
Pulsador ON/OFF trifásico 15 A	1	Unidad	7,50	7,50
Cable gemelo # 14	4	Unidad	1,50	6,00
Enchufe Monofásico 220 V	1	Unidad	0,75	0,75
Regatones 1 1/2in x 1 ½ in	4	Unidad	0,75	3,00
Kit de pintura.	1	Litro	12,00	12,00
Total Materiales				\$ 697,70
MANO DE OBRA				
Estructura de soporte	1	Unidad	150,00	150,00
Mecanizado	1	Unidad	340,00	340,00
Ensamblaje	1	Unidad	60,00	60,00
Total de Mano de Obra				\$ 550,00
TRANSPORTE				
Fletes y otros			80,00	80,00
Total de Transporte				\$ 80,00
TOTAL COSTOS DIRECTOS				\$ 1327,70

Fuente. Autores

6.2 Costos indirectos

Son todos los costos que no están clasificados como mano de obra directa ni como materiales directos. Aunque los gastos de venta, generales y de administración también se consideran frecuentemente como costos indirectos, no forman parte de los costos indirectos de fabricación, ni son costos del producto.

Tabla 17. Costos indirectos

Detalle	Valor
Diseño y supervisión	200,00
Imprevistos	40,00
TOTAL COSTOS INDIRECTOS	\$ 240,00

Fuente. Autores

Como se especifica anteriormente aquí intervinieron todos los gastos de asesoría e imprevistos que suscitaron en la construcción del prototipo de máquina centrifugadora vertical.

6.3 Costos totales

El costo total es un término económico que se refiere a la suma de todos los costos, incluyendo los costos directos y los costos indirectos.

Calcular el costo total es un paso necesario para calcular el costo promedio, que es el costo de unidad, o el costo de producir cada producto individual.

Tabla 18. Costos totales

Costos Directos	\$ 1327,70
Costos Indirectos	\$ 240,00
TOTAL DE COSTOS	\$ 1567,70

Fuente. Autores

En el análisis realizado de los costos totales se puede verificar el principio de obtener los mayores y mejores resultados al menor esfuerzo invertido tanto por la eficiencia técnica, todos los hechos y actos pueden evaluarse bajo esta lógica.

Los costos totales del prototipo de la máquina centrifugadora vertical sumados los costos directos e indirectos ascienden a la suma de \$ 1567,70 USD.

CAPÍTULO VII

7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1 Conclusiones

Se ha demostrado que la máquina centrifugadora vertical cumple con todas las especificaciones demostradas en las tres pruebas operativas realizadas en el taller de fundición de la Facultad de Mecánica de la ESPOCH.

Se realizó con éxito todos los análisis planteados dentro del diseño detallado del prototipo de máquina, lo cual permitió que la máquina funcione correctamente.

Se realizó la construcción del prototipo de la máquina centrifugadora vertical poniendo en práctica los fundamentos teóricos adquiridos tales como: física, procesos de fundición, soldadura, resistencia de materiales, elementos de máquinas, métodos y tiempos, control de calidad y costos.

Se pudo verificar que el funcionamiento del prototipo de la máquina centrifugadora fue el adecuado ya que se realizó la prueba de encendido de la máquina sin carga y con un tiempo prolongado de treinta minutos.

Al realizar el análisis teórico de los elementos y componentes de la máquina centrifugadora, es importante tomar en consideración todos los factores de diseño tales como: eficiencia, pérdidas, temperaturas de trabajo, entre otros, ya que si no los tomamos en cuenta el elemento puede fallar durante el trabajo.

Se obtuvo con éxito los ejes cilíndricos de aluminio mediante el principio de fundición centrífuga vertical.

Se realizó un estudio de costos y se determinó un costo total de mil quinientos sesenta y siete con setenta centavos de dólares americanos.

7.2 Recomendaciones

Verificar que la coquilla este alineada antes de realizar el precalentamiento del molde, esto para que se pueda generar una dilatación uniforme, de igual forma es importante una vez culminado el proceso de fundición centrífuga, limpiar el molde de los restos de material que se pegan a las paredes.

Es importante tomar en cuenta y poner en práctica los equipos de protección personal ya que se está expuesto a altas temperaturas y estos nos ayudan a evitar riesgos en el trabajo.

Dar una correcta lubricación al sistema de transmisión por cadena para que no se deteriore a través del polvo y elementos corrosivos existentes en el taller de fundición.

Al realizar las pruebas de funcionamiento de la máquina tomar en cuenta la nivelación de la misma para que no exista exceso de vibración.

Al realizar las pruebas de fundición es necesario un precalentamiento del molde para que no exista un choque térmico brusco y existan malformaciones en la fundición.

BLOGRAFÍA

ÁLVAREZ, Javier Callón. 2002. Elementos. [En línea] 11 de Julio de 2002. <http://elementos.org.es/aluminio>.

ARPAL. 2013. Asociación para el Reciclado de Productos de Aluminio. [En línea] 09 de Mayo de 2013. <http://aluminio.org/?p=821>.

Corporation, NTN. 2004. catalogo de rodamientos de bolas y de rodillos. 2004.

EcuRed. 2013. Metales no ferrosos. Metales no ferrosos. [En línea] 28 de Octubre de 2013. [Citado el: 10 de Marzo de 2014.] http://www.ecured.cu/index.php/Metales_no_ferrosos.

ESPE. 2014. Procesos de Moldeo y formado. [En línea] 19 de Febreo de 2014. [Citado el: 02 de Abril de 2014.] <http://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/218/6/T-ESPE-027514-2.pdf>.

GARCÍA, Jesus Portillo. 2010. Selección y uso de los equipos de protección individual. [En línea] Enero de 2010. [Citado el: 14 de Mayo de 2014.] http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/TextosOnline/Divulgacion_Normativa/Ficheros/FDN_7.pdf.

Ingemecánica. 2014. Propiedades mecánico-químicas del aluminio. [En línea] 23 de Enero de 2014. [Citado el: 20 de Marzo de 2014.] <http://ingemecánica.com/tutorialsemanal/tutorialn110.html>.

MediaFire. 2012. Metales no ferrosos. [En línea] 08 de Marzo de 2012. [Citado el: 15 de Marzo de 2014.] <http://www.mediafire.com/download/qwqmq66j2spxizh/Metales+no+ferrosos.pdf>.

Micro-Log. 2011. Micro-log. [En línea] Febrero de 2011. [Citado el: 10 de Junio de 2014.] http://www.microlog.net/mininoticias/mininoticia_microlog_tecnologia_ruedas_dentadas.pdf.

MIRANDA. 2010. La gestión del proceso de diseño y desarrollo de producto. [En línea] Julio de 2010. [Citado el: 30 de Abril de 2014.] <http://ciberconta.unizar.es/leccion/desapro/100.HTM>.

Monografías. 2014. Creación y diseño de nuevos productos. [En línea] 27 de Febrero de 2014. [Citado el: 30 de Abril de 2014.] <http://www.monografias.com/trabajos30/nuevos-productos/nuevos-productos.shtml>.

MOTT, Robert L. 2006. Diseño de elementos de máquinas cuarta edición. México: Pearson Educación, 2006.

TITOV, A. Stepánov. 1981. Tecnología del proceso de fundición. s.l.: Mir, 1981.

NSK. 2011. Tipos y características de los rodamientos. 2011.

ODETTO, A. 2010. Cadenas. [En línea] Enero de 2010. [Citado el: 10 de Junio de 2014.] http://www.frro.utn.edu.ar/repositorio/catedras/quimica/3_ano/mecanica_electrica/CADENAS_DE_TRANSMISION.pdf.

OSHA. 2010. Hoja de datos OSHA. [En línea] julio de 2010. https://www.osha.gov/OshDoc/data_General_Facts/ppe-factsheet-spanish.pdf.

PEEA. 2014. Reductores. [En línea] Febrero de 2014. [Citado el: 10 de Mayo de 2014.] <http://peea.com.mx/productos/reductores.html>.

PEZZANO, Pascual A. 1962. Siderurgia. s.l.: Librería Alsina, 1962.

QUEZADA, David, Caluña, Oscar. 2013. “Construcción e Implementación de un Prototipo de una Máquina Centrifugadora para la Obtención de Cilindros Huecos sin Costura de Aluminio en el Taller de Fundición de la Facultad de Mecánica de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo”. TESIS. Riobamba : Biblioteca de la Facultad de Mecánica, 2013.

REBOLLEDO, Javier. 2008. Fundición Centrífuga. [En línea] 14 de Junio de 2008. [Citado el: 27 de Abril de 2014.] http://www.comosehace.cl/procesos/JavierRebolledo/fundicion_centrifuga.htm.

SKF. 2013. Catálogos de rodamientos SKF. 2013.

STEFANESCU, D.M. 1992. ASM HANDBOOK. s.l.: ASM Handbook Committee, 1992.

USECHE, Libardo Vanegas. 2009. Diseño de elementos de máquinas. 2009.

VALENCIA, Asdrúbal. 1992. Tecnología del tratamiento térmico de los metales. Ed. Universidad de Antioquia. [En línea] 18 de Enero de 1992. [Citado el: 02 de Mayo de 2014.] <http://www.tratar.com.co/descargas/acero.pdf>.

VALEZUELA, Pedro Eduardo. 2009. Reductores de Velocidad y Motorreductores. [En línea] 13 de Febrero de 2009. [Citado el: 05 de Mayo de 2014.] <http://www.varimak.com/nota9.htm>.

VILLARROEL, A. 2010. Reductr de velocidad. [En línea] Enero de 2010. [Citado el: 10 de Junio de 2014.] <http://adnervillarroel.files.wordpress.com/2010/07/reductores-de-velocidad.pdf>.

WEG, motores electricos. Motores electricos. [En línea] [Citado el: 10 de Junio de 2014.] <http://ecatalog.weg.net/files/wegnet/WEG-guia-de-especificacion-50039910-manual-espanol.pdf>.