



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE
CHIMBORAZO**

FACULTAD DE MECÁNICA

ESCUELA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

**“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”**

EDWIN DAVID QUEZADA SAMANIEGO

OSCAR PATRICIO CALUÑA CALUÑA

TESIS DE GRADO

Previa a la obtención del Título de:

INGENIERO INDUSTRIAL

RIOBAMBA - ECUADOR

2013

ESPOCH

Facultad de Mecánica

CERTIFICADO DE APROBACIÓN DE TESIS

Abril, 10 de 2013

Yo recomiendo que la Tesis preparada por:

EDWIN DAVID QUEZADA SAMANIEGO

Titulada:

**“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”**

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

INGENIERO INDUSTRIAL

Ing. Geovanny Novillo Andrade
DECANO DE LA FAC. DE MECÁNICA

Nosotros coincidimos con esta recomendación:

Ing. José Francisco Pérez F.
DIRECTOR DE TESIS

Ing. Ángel Rigoberto Guamán M.
ASESOR DE TESIS

ESPOCH

Facultad de Mecánica

CERTIFICADO DE APROBACIÓN DE TESIS

Abril, 10 de 2013

Yo recomiendo que la Tesis preparada por:

OSCAR PATRICIO CALUÑA CALUÑA

Titulada:

**“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”**

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

INGENIERO INDUSTRIAL

Ing. Geovanny Novillo Andrade
DECANO DE LA FAC. DE MECÁNICA

Nosotros coincidimos con esta recomendación:

Ing. José Francisco Pérez F.
DIRECTOR DE TESIS

Ing. Ángel Rigoberto Guamán M.
ASESOR DE TESIS

ESPOCH

Facultad de Mecánica

CERTIFICADO DE EXAMINACIÓN DE TESIS

NOMBRE DEL ESTUDIANTE: EDWIN DAVID QUEZADA SAMANIEGO

TÍTULO DE LA TESIS: “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”

Fecha de Examinación: Abril, 10 de 2013.

RESULTADO DE LA EXAMINACIÓN:

COMITÉ DE EXAMINACIÓN	APRUEBA	NO APRUEBA	FIRMA
Ing. Gloria Miño Cascante (PRESIDENTE TRIB. DEFENSA)			
Ing. José Francisco Pérez F. (DIRECTOR DE TESIS)			
Ing. Ángel Rigoberto Guamán M. (ASESOR DE TESIS)			

* 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. Gloria Miño Cascante
f) Presidente del Tribunal

ESPOCH

Facultad de Mecánica

CERTIFICADO DE EXAMINACIÓN DE TESIS

NOMBRE DEL ESTUDIANTE: OSCAR PATRICIO CALUÑA CALUÑA

TÍTULO DE LA TESIS: “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”

Fecha de Examinación: Abril, 10 de 2013

RESULTADO DE LA EXAMINACIÓN:

COMITÉ DE EXAMINACIÓN	APRUEBA	NO APRUEBA	FIRMA
Ing. Gloria Miño Cascante (PRESIDENTE TRIB. DEFENSA)			
Ing. José Francisco Pérez F. (DIRECTOR DE TESIS)			
Ing. Ángel Rigoberto Guamán M. (ASESOR DE TESIS)			

* 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. Gloria Miño Cascante
f) Presidente del Tribunal

CERTIFICACIÓN

Ing. JOSÉ F. PÉREZ FIALLOS, Ing. ÁNGEL R. GUAMÁN M. en su orden Director y Asesor del Tribunal de Tesis de Grado desarrollado por los señores **EDWIN DAVID QUEZADA SAMANIEGO** y **OSCAR PATRICIO CALUÑA CALUÑA** Egresados.

CERTIFICAN

Que luego de revisada la Tesis de Grado en su totalidad, se encuentra que cumple con las exigencias académicas de la Escuela de Ingeniería Industrial, Carrera INGENIERÍA, por lo tanto autorizamos su presentación y defensa.

Ing. José Francisco Pérez F.
DIRECTOR DE TESIS

Ing. Ángel Rigoberto Guamán M. MsC
ASESOR DE TESIS

DERECHOS DE AUTORÍA

El trabajo de grado que presentamos, 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.

Edwin David Quezada Samaniego

Oscar Patricio Caluña Caluña

AGRADECIMIENTO

Mi profundo agradecimiento a Dios por permitirme culminar mi carrera profesional, a mis queridos padres quienes han estado conmigo brindándome su apoyo y comprensión en todos los momentos, a mis hermanos Paulo, Fátima y Aldo por su confianza y cariño.

A quienes colaboraron en este proceso investigativo, al Ing. José Pérez, al Ing. Ángel Guamán, que con sus conocimientos permitieron el desarrollo de esta investigación.

A cada uno de mis amigos que siempre han estado pendientes y disponibles para brindarme su ayuda y cooperación y de quienes nunca ha faltado palabras de aliento y estima.

Oscar Caluña Caluña

Infinitamente a Dios, por guiarme y cuidarme siempre, a mis padres, por su cariño, ejemplo y apoyo incondicional durante toda mi vida, A mis hermanos, por su compañía y por sus buenos consejos.

A la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, en especial a la Escuela de Ingeniería Industrial, por brindarme la oportunidad de obtener una profesión y ser una persona útil a la sociedad. Al Ing. José Pérez y Ing. Ángel Guamán por la orientación y por compartir sus conocimientos para el desarrollo de esta investigación.

Finalmente a todos los amigos, compañeros y personas que me han brindado su apoyo en esta etapa de mi vida.

David Quezada Samaniego

DEDICATORIA

A DIOS, el guía de mi vida quien ha estado conmigo en todos los momentos y más en los difíciles, a mis queridos padres Narcisa y Hugo quienes me han permitido alcanzar mis metas.

Oscar Caluña Caluña

A mis queridos padres Carmen y Jorge, quienes han sido pilar fundamental en mi vida, que con su cariño y sacrificio me han guiado y motivado a cumplir mis metas.

A mis hermanos Mayra y Daniel, por estar siempre conmigo dispuestos para brindarme su apoyo.

David Quezada Samaniego

CONTENIDO

	Pág.
1. INTRODUCCIÓN	1
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>Aplicaciones</i>	3
2.1.1.1 <i>Cobre</i>	3
2.1.1.2 <i>Bronce</i>	4
2.1.1.3 <i>Estaño</i>	4
2.1.2 <i>Aluminio</i>	4
2.1.2.1 <i>Características</i>	5
2.1.2.2 <i>Propiedades</i>	5
2.1.2.3 <i>Aplicaciones</i>	6
2.1.2.4 <i>Reciclado</i>	8
2.2 Principio de funcionamiento de la fundición centrífuga.....	8
2.2.1 <i>Características</i>	9
2.2.2 <i>Fuerza centrífuga</i>	10
2.2.3 <i>Factor GF</i>	10
2.3 Tipos de fundición centrífuga.....	11
2.3.1 <i>Fundición centrífuga real</i>	11
2.3.2 <i>Fundición semicentrífuga</i>	11
2.3.3 <i>Fundición centrifugada</i>	11
2.4 Diseño conceptual.....	12
2.4.1 <i>Definición</i>	12

2.4.2	<i>Descripción del procedimiento.</i>	12
2.4.2.1	<i>Métodos de generación de ideas.</i>	12
2.4.2.2	<i>Bosquejo a mano alzada.</i>	13
2.4.2.3	<i>Tabla morfológica.</i>	13
2.5	<i>Diseño preliminar</i>	14
2.5.1	<i>Definición.</i>	14
2.5.2	<i>Descripción del procedimiento.</i>	14
2.5.2.1	<i>Método de selección.</i>	14
2.5.2.2	<i>Prototipo.</i>	14
2.5.2.3	<i>Ventajas y desventajas.</i>	15
2.6	<i>Diseño detallado.</i>	15
2.6.1	<i>Definición.</i>	15
2.6.2	<i>Descripción del procedimiento.</i>	15
2.6.2.1	<i>Planos de ingeniería.</i>	15
2.6.2.2	<i>Manual de operación y mantenimiento.</i>	15
2.7	<i>Materiales y equipos para la construcción del prototipo.</i>	16
2.7.1	<i>Aceros.</i>	16
2.7.1.1	<i>Clasificación.</i>	16
2.7.1.2	<i>Propiedades de los aceros.</i>	17
2.7.1.3	<i>Elementos de aleación.</i>	18
2.7.1.4	<i>Tratamientos térmicos.</i>	19
2.7.2	<i>Chumaceras.</i>	20
2.7.2.1	<i>Tipos de chumaceras.</i>	21
2.7.3	<i>Motor eléctrico.</i>	24
2.7.3.1	<i>Aplicaciones.</i>	25
2.7.3.2	<i>Sentido de giro.</i>	25
2.7.3.3	<i>Regulación de velocidad.</i>	25
2.7.4	<i>Variador de frecuencia.</i>	25
2.7.4.1	<i>Principio de funcionamiento.</i>	26
2.8	<i>Sistemas de transmisión.</i>	27
2.8.1	<i>Poleas y correas.</i>	27
2.8.2	<i>Engranajes y cadenas.</i>	28

3.	DISEÑO DEL PROTOTIPO DE LA MÁQUINA CENTRÍFUGA.....	29
3.1	Diseño conceptual.....	29
3.1.1	<i>Lluvia de ideas</i>	30
3.1.2	<i>Bosquejo de alternativas</i>	30
3.1.3	<i>Tabla morfológica</i>	32
3.2	Diseño preliminar.	33
3.2.1	<i>Método de selección</i>	33
3.2.1.1	<i>Matriz de selección</i>	33
3.2.2	<i>Prototipo</i>	34
3.2.3	<i>Ventajas</i>	34
3.3	Diseño detallado.	34
3.3.1	<i>Molde</i>	34
3.3.1.1	<i>Selección del material</i>	35
3.3.1.2	<i>Dimensionamiento</i>	36
3.3.1.3	<i>Velocidad de giro</i>	39
3.3.1.4	<i>Esfuerzos</i>	41
3.3.1.5	<i>Comportamiento térmico</i>	48
3.3.2	<i>Sistema de transmisión</i>	50
3.3.2.1	<i>Determinación de la potencia</i>	50
3.3.2.2	<i>Transmisión</i>	54
3.3.2.3	<i>Ejes de transmisión</i>	65
3.3.2.4	<i>Rodos de soporte</i>	73
3.3.3	<i>El vertedero</i>	74
3.3.4	<i>Estructura de soporte</i>	74
4.	CONSTRUCCIÓN DEL PROTOTIPO DE LA MÁQUINA	
	CENTRÍFUGA	77
4.1	Construcción.....	78
4.1.1	<i>Corte</i>	79
4.1.2	<i>Torneado</i>	80
4.1.3	<i>Soldadura</i>	81

4.2	Montaje de las diferentes partes del prototipo.....	82
4.2.1	<i>Colocación de rodos de soporte en los ejes de transmisión.</i>	83
4.2.2	<i>Colocación de chumaceras.</i>	84
4.2.3	<i>Montaje del motor</i>	84
4.2.4	<i>Alineamiento e instalación de la banda.</i>	85
4.2.5	<i>Tensión en la correa.</i>	85
4.2.6	<i>Conexiones eléctricas.</i>	86
4.2.6.1	<i>En el motor</i>	86
4.2.6.2	<i>En el variador de frecuencia</i>	86
4.3	Máquinas y herramientas utilizadas.....	87
4.3.1	<i>Manipulación de máquinas herramientas.</i>	87
4.4	Seguridad e higiene para la construcción e implementación.....	87
4.4.1	<i>Seguridad en el taller.</i>	88
4.4.2	<i>Higiene en el taller.</i>	89
4.5	Seguridad e higiene en los procesos	90
4.6	Seguridad e higiene en el taller de fundición.....	91
4.6.1	<i>Ropa y equipo de trabajo.</i>	92
5.	COMPROBACIÓN DEL FUNCIONAMIENTO DEL PROTOTIPO DE LA MÁQUINA CENTRÍFUGA	93
5.1	Pruebas de funcionamiento del prototipo de la máquina centrífuga.....	93
5.2	Pruebas de funcionamiento del prototipo de la máquina centrífuga bajo carga.....	94
6.	COSTOS	102
6.1	Costos directos.....	102
6.2	Costos indirectos.....	103
6.3	Costos totales	103

7.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	104
7.1	Conclusiones.....	104
7.2	Recomendaciones.	105

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BIBLIOGRAFÍA

LINKOGRAFÍA

ANEXOS

PLANOS

LISTA DE TABLAS

	Pág.
1	Tabla morfológica.....32
2	Matriz de selección.....33
3	Matriz de selección.....34
4	Propiedades del acero AISI 101836
5	Ecuaciones de esfuerzos45
6	Resistencia a la cedencia47
7	Calor específico del aluminio.....49
8	Factores de servicio sugeridos Ks para transmisión de bandas en V58
9	Tipo de bandas en V.....59
10	Banda seleccionada.....59
11	Longitud de paso estándar.....61
12	Longitud de banda corregida.....61
13	Potencia nominal en hp de bandas en V estándares62
14	Factor de corrección para la longitud de la banda.....64
15	Factores de confiabilidad.....67
16	Materiales para fabricación de chavetas.....71
17	Tamaño de la chaveta en base al tamaño de la flecha o eje.....71
18	Propiedades acero AISI 101873
19	Cargas soportadas por la estructura.....75
20	Coefficiente de expansión térmica.....76
21	Partes constitutivas77
22	Diagrama de construcción y montaje.....78
23	Partes que conforman el prototipo.....83
24	Máquinas y herramientas para la construcción del prototipo.....88
25	Equipos de protección personal.....92
26	Resumen de parámetros.....100
27	Costos directos.....102
28	Costos indirectos.....103
29	Costos totales.....103

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
1	Aluminio5
2	Chumacera de piso.....21
3	Motor eléctrico.24
4	Variador de frecuencia.....26
5	Fundición centrífuga horizontal.....30
6	Fundición semicentrífuga31
7	Fundición centrifugada31
8	Dimensiones del molde.37
9	Diseño de placas38
10	Dimensionamiento de placas.39
11	Nomograma de la ASM Handbook40
12	Esfuerzo anular45
13	Reductor de velocidad.55
14	Factor de corrección de ángulo de contacto.63
15	Eje transmisor65
16	Cargas en el eje transmisor.65
17	Simulación de la deformación del eje transmisor68
18	Cargas en el eje guía69
19	Simulación de la deformación del eje guía.....70
20	Dimensiones de rodos.....73
21	Vertedero.74
22	Deformación bajo carga de la estructura de soporte.....75
23	Diagrama Pert.79
24	Corte.79
25	Mecanizado del molde.....80
26	Soldadura81
27	Explotado y ensamble del prototipo82
28	Montaje de rodos.83
29	Ensamble de chumaceras.....84

30	Montaje del motor	84
31	Ajuste de la banda.....	85
32	Conexiones eléctricas.	87
33	Prueba I.....	93
34	Prueba II	94
35	Pirómetro de inmersión y horno crisol.	95
36	Prueba III	96
37	Prueba IV	97
38	Prueba V	98
39	Prueba VI.....	99
40	Prueba VII.....	100
41	Comparación de pruebas.....	101

LISTA DE ABREVIACIONES

°C	Grados Celsius
AISI	Instituto americano del hierro y del acero
ASTM	Sociedad Americana para Pruebas y Materiales
ft/min	Pie por minuto
GF	Gravedad de la fuerza centrífuga
GPa	Giga pascales
Hp	Caballos de fuerza
Hz	hertzio
Kcal	Kilocalorías
kg/m ³	Kilogramo por metro cúbico
Lbf	Libras fuerza
MPa	Mega pascales
Psi	Libras fuerza por pulgada cuadrada
Pulg.	Pulgadas
Rpm	Revoluciones por minuto
SAE	Sociedad de Ingenieros Automotrices
VDF	Variador de frecuencia

LISTA DE ANEXOS

- A** Propiedades de los aceros al carbono
- B** Factores de concentración de tensión para ejes redondos de paso
- C** Diagrama hombre - máquina
- D** Hoja de proceso para la fabricación del molde
- E** Curva esfuerzo - deformación del acero
- F** Manual de operaciones

RESUMEN

El presente trabajo investigativo denominado, 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, se realizó con la finalidad de demostrar el principio de funcionamiento de la fundición centrífuga, debido a que este proceso es muy utilizado en la industria.

Definidas las características del producto a obtener y mediante el estudio de diseño, se determinó que la mejor alternativa para la fabricación, es la de fundición centrífuga horizontal, procedimiento que utiliza un molde de acero AISI 1018, que debe girar a una velocidad de 1176 revoluciones por minuto.

En el análisis teórico de los componentes del prototipo la máquina, se determinó la confiabilidad de cada uno de estos, debido a que se consideró todos los factores de diseño para su construcción y adquisición.

Además se determinó que para obtener un cilindro hueco de aluminio sin costura de calidad, la superficie interna del molde debe tener un excelente acabado, el molde y el vertedero deben estar a una temperatura de 250 °C, y el tiempo de colado no debe sobrepasar los 8 segundos, con un tiempo de rotación de 25 segundos para la etapa de solidificación.

Se determinó que utilizando el prototipo de la máquina de fundición centrífuga horizontal construido, si se puede obtener cilindros huecos de aluminio sin costura.

ABSTRACT

The present research work called, Manufacturing and Implementation of a Prototype of a Centrifuge machine for obtaining aluminum seamless hollowed cylinders, in the Casting workshop of the Mechanic Faculty from Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, it was developed with the aim of demonstrating the functioning principle of the centrifugal casting since this process is very useful in industry.

Once defined the features of the product to obtain and, through design study, it was determined that the best choice for its manufacturing, is the horizontal centrifugal casting, procedure that uses an AISI 1018 steel mold, which needs to spin at a speed of 1176 RPM.

In the theoretical analysis of the components of the machine prototype, it was tested the reliability of each one of them, since all design factors were considered for its construction and acquisition.

Additionally it was determined that for obtaining a high-quality aluminum seamless hollowed cylinder, the internal surface of the mold must have an excellent finish, the mold and dump must have a temperature of 250 °C, and the casting time must not overdo 8 seconds, with a rotation time of 25 seconds for the solidification stage.

It was determined that by using the built horizontal centrifuge casting machine, it is possible to obtain aluminum seamless hollowed cylinders.

CAPÍTULO I

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes

A medida que la ciencia y la tecnología avanzan, a nivel industrial se va generando nuevos métodos de producción, esto hace que las empresas en su afán de mejorar adopten estos métodos, ya que al no hacerlo no podrán ser competitivas, generando así un constante cambio y evolución.

En la actualidad lo que se espera alcanzar con los procesos productivos es disminuir costos, incrementar la producción, mejorar la calidad del producto y generar seguridad dentro del proceso, todo esto teniendo en cuenta el factor ambiental.

En el Ecuador en especial dentro de la industria del acero uno de los procesos más importantes es el de fundición centrífuga, el cual ha ido sustituyendo a la fundición en arena debido a la disminución de desperdicios, ya que no se utiliza bebederos ni mazarotas, disminución de tiempo al evitar el moldeo en arena y un enfriamiento rápido generado por las velocidades de rotación.

La fundición centrífuga es un proceso que se lo utiliza en la obtención de objetos simétricos las aplicaciones de este tipo de fundición son muy variadas, yendo desde la fabricación de telescopios, tubos sin costura, camisas, partes de joyería, hasta tuberías de considerable diámetro para la conducción de petróleo.

1.2 Justificación

Debido a este constante cambio y evolución, varias empresas nacionales que se dedican a la elaboración de equipos industriales mediante el proceso de fundición, han venido cambiando sus diferentes métodos de producción por otros más eficientes, que les permitan entre otras cosas mejorar la calidad del producto, uno de ellos es la fundición centrífuga. Es por ello que se proyecta construir e implementar un prototipo de una máquina centrifugadora para la obtención de cilindros huecos de aluminio sin costura y

con ello conocer las diferentes características y los parámetros necesarios que se deben cumplir para realizar este tipo de fundición, además de verificar las diferentes ventajas que posee y de esta forma tener un conocimiento mucho más amplio de este proceso.

El proceso de fundición centrifugada o centrífuga, consiste en depositar una capa de fundición líquida en un molde permanente de revolución girando a gran velocidad, y solidificar rápidamente el metal mediante un enfriamiento continuo del molde o coquilla y así obtener piezas con mejor acabado superficial y de forma rápida.

1.3 Objetivos

1.3.1 *Objetivo general.* Construir e implementar un prototipo de una máquina centrifugadora para la obtención de cilindros huecos de Aluminio sin costura 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 cilindros huecos de aluminio sin costura mediante fundición centrífuga.

Realizar el estudio de costos de construcción.

CAPÍTULO II

2. MARCO CONCEPTUAL

2.1 Materiales no ferrosos

Con frecuencia se exige de los metales buena resistencia a la corrosión, poco peso, gran resistencia mecánica, elevada conductividad eléctrica o térmica y alta resistencia al desgaste.

Características difíciles de lograr con el hierro y sus aleaciones, pero que poseen distintos materiales no ferrosos, es por ello que estos materiales son cada día más imprescindibles.

Entre los materiales no ferrosos más importantes tenemos al cobre, zinc, plomo, estaño, aluminio, níquel y manganeso. Hay otros elementos que con frecuencia se fusionan con los ya indicados para preparar aleaciones de importancia comercial. Los metales no ferrosos se clasifican en tres grupos [1]:

Pesados: son aquellos cuya densidad es igual o mayor de 5 kg/dm^3 .

Ligeros: su densidad está comprendida entre 2 y 5 kg/dm^3 .

Ultraligeros: su densidad es menor de 2 kg/dm^3 .

2.1.1 Aplicaciones

2.1.1.1 Cobre

- Por su buena conductividad eléctrica se usa como conductor eléctrico en cables de baja tensión.
- Por su buena conductividad térmica se usa en intercambiadores de calor, refrigeradores, calderas.
- Por ser dúctil y maleable es susceptible de dejarse conformar en delgadísimas láminas empleadas en objetos de artesanía y en la industria.

2.1.1.2 Bronce

- Fabricación de piezas mecánicas, engranajes, cojinetes, conducciones para líquidos y gases y otros accesorios para calefacción.
- Los más duros (con más Sn) para campanas y timbres.
- Los más blandos (con menos Sn) para fabricar chapas, alambres y medallas o monedas estampadas.

2.1.1.3 Estaño [2]

- Por su resistencia a la corrosión se emplea en la fabricación de hojalata, que se obtiene al recubrir láminas de hierro con una capa exterior de estaño por inmersión en baño de estaño fundido.
- Se usa mucho en envases alimenticios.
- Por su maleabilidad, en la fabricación de papel de estaño, para cubrir alimentos.
- Es muy importante su aleación con cobre para obtener bronce.
- También para obtener soldadura blanca al alearlo con plomo.

2.1.2 Aluminio. [3] Es el tercer elemento más abundante en la corteza terrestre y constituye el 7.3% de su masa.

Fue descubierto en 1808 y es, por lo tanto, un material muy joven. La humanidad ha utilizado cobre, plomo y estaño por miles de años.

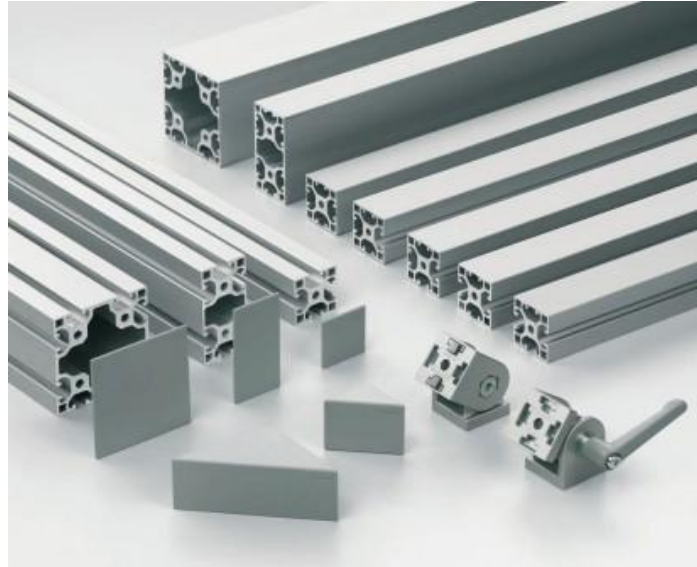
Sin embargo en la actualidad se produce más aluminio que la suma del resto de la producción de los otros metales no ferrosos.

El aluminio es un material sustentable. Dados los actuales niveles de producción, las reservas conocidas de bauxita de las cuales se obtiene el mineral de aluminio durarán por cientos de años.

Más del 55% de la producción mundial de aluminio se realiza utilizando energía hidroeléctrica renovable. Casi la totalidad de los productos de aluminio pueden desde un punto de vista técnico y económico ser reciclados repetidamente para producir nuevos productos, sin perder el metal su calidad y propiedades.

La utilización de metales reciclados ahorra energía y preserva las fuentes de recursos naturales. Es por eso que el creciente uso del aluminio reciclado en diversas aplicaciones le da el reconocimiento de metal verde.

Figura 1. Aluminio.



Fuente: www.fabricalo.net/index.php/como-se-fabrica-el-aluminio-2/

2.1.2.1 Características [4]

- En forma natural es sólido.
- Elemento químico de aspecto plateado.
- El número atómico es 13.
- El símbolo químico es Al.
- El punto de fusión es de 933 grados Kelvin o de 660 °C.
- El punto de ebullición es de 2792 grados Kelvin o de 2518,85 °C.
- La densidad es de 2698.4 kg/m^3 .
- Su estructura cristalina es cúbica centrada en las caras.
- La conductividad térmica es de $237 \text{ W/(K} \cdot \text{m)}$.

2.1.2.2 Propiedades. El aluminio es un metal muy ligero, con un peso específico de 2700 kg/m^3 que es un tercio de la del acero. La resistencia del metal puede ser ajustado mediante la adición de pequeñas cantidades de otros metales, es decir, mediante aleaciones.

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

Reflexibilidad.- El aluminio es muy reflectivo en la luz y con la radiación solar, más que ningún otro metal corriente.

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 genera de forma natural una capa de óxido que lo hace muy resistente a la corrosión. Los diferentes tipos de tratamiento de superficie pueden mejorar aún más esta propiedad. Resulta especialmente útil para aquellos productos que requieren de protección y conservación.

Reciclabilidad.- La re-fusión 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.

2.1.2.3 Aplicaciones [5]

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).

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. Éste interés responde a criterios ecológicos, además de económicos. Actualmente, se fabrican en aluminio piezas fundidas como pistones, ruedas, cajas de transmisión, conjuntos de suspensión, radiadores, estructuras y carrocerías.

La utilización de este material en la fabricación de vehículos conlleva grandes ventajas medioambientales, la ligereza del material supone una reducción del peso del vehículo de hasta un 30%, lo que se traduce en un ahorro de combustible, ya que el vehículo requiere menor fuerza y potencia para moverse, y por lo tanto genera un menor porcentaje de polución.

En el sector aeroespacial es indispensable gracias a su ligereza. 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. De hecho, el primer avión de aluminio se fabricó en la década de 1920 y desde entonces sigue vinculado a este sector gracias a la combinación de su resistencia, ligereza y maleabilidad.

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 y puertas y en otras estructuras como cubiertas para grandes superficies y estadios.

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 hasta láminas para cerrar yogures, medicamentos, etc.

En cuanto a la utilización de latas de aluminio cabe destacar sus ventajas en comparación con otros envases: protegen el contenido durante largos periodos ante la entrada de oxígeno y contra la luz, son muy ligeras, permiten enfriar las bebidas rápidamente, son difíciles de romper, presentan una gran comodidad de manejo y ocupan muy poco espacio. Y lo más importante son 100% reciclables.

Otros usos.- En la industria química el aluminio y sus aleaciones se utilizan para fabricar tubos, recipientes y aparatos. Por su elevada conductividad térmica, el aluminio se emplea en utensilios de cocina. Además, 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.

Las aplicaciones son infinitas y su demanda crece día a día. Un material idóneo para el mundo actual y que respeta el medio en el que vivimos.

2.1.2.4 Reciclado. [6] 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.

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. Finalmente, el fundidor o refinador lo convierte en lingotes, tochos, productos de desoxidación, los cuales serán utilizados para crear nuevos productos destinados al consumo humano.

2.2 Principio de funcionamiento de la fundición centrífuga

La fundición centrífuga es el proceso de hacer girar un molde mientras se solidifica el metal, utilizando así la fuerza centrífuga para acomodar el metal en el molde, de esta manera se obtiene mayores detalles sobre la superficie de la pieza y la estructura densa del metal adquiere propiedades físicas superiores. Las piezas de formas simétricas se prestan particularmente para este método, aun cuando se pueden producir muchos otros tipos de piezas fundidas. Por fundición centrífuga se obtienen piezas más económicas que por otros métodos. Los corazones en formas cilíndricas y rebosaderos se eliminan.

Las piezas tienen una estructura de metal densa y las impurezas van de la parte posterior al centro de la pieza. [7]

Por razón de la presión extrema del metal sobre el molde, se pueden lograr piezas de secciones delgadas como en la fundición estática. Aunque en la fundición centrífuga hay limitaciones en el tamaño y forma de piezas fundidas, se pueden hacer desde anillos de pistón de pocos gramos de peso hasta rodillos para papel que pesen arriba de 40 toneladas.

Tiene una mayor fiabilidad que piezas de fundición estática, el proceso es relativamente libre de la porosidad del gas y la contracción.

2.2.1 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.

La colada centrífuga es adecuada para la fabricación de cuerpos de revolución huecos, generalmente se utiliza para fabricar: tubos, cilindros, y también casquillos de cojinete, estructuras de gran diámetro, tubos de petróleo, instalaciones de la industria química y suministro de agua.

Además existen otros factores importantes que considerar para la fundición centrífuga tales como:

- Dimensionamiento del molde.
- Velocidad de rotación del molde.
- Velocidad de rotación del eje de transmisión.
- Tasa de transferencia de calor.
- Tiempo de fundición.
- Tasa de entrega de material fundido.

2.2.2 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).

2.2.3 Factor GF. Es la relación entre la fuerza centrífuga y el peso, para que el funcionamiento sea el adecuado el factor GF no debe ser demasiado bajo en la fundición centrífuga, el metal líquido no quedará pegado a la pared del molde durante la mitad superior de la ruta circular sino que “lloverá” dentro de la cavidad.

Si ocurren deslizamientos entre el metal fundido y la pared del molde, significa que la velocidad rotacional del metal es menor que la del molde. Empíricamente, los valores de $GF = 60$ a 80 son apropiados para la fundición centrífuga, aunque esto depende hasta cierto punto del metal que se funde y si la fundición es horizontal o vertical.

La siguiente ecuación nos indica la relación entre la fuerza centrífuga y el peso:

$$GF = \frac{F}{W} = \frac{mv^2}{Rmg} = \frac{v^2}{Rg} \quad (2)$$

Dónde:

F: fuerza (N).

m: masa (Kg).

v: velocidad (m/s).

R: radio interior del molde (m).

W: peso (N).

g: aceleración de la gravedad (m/s^2).

2.3 Tipos de fundición centrífuga

Existen tres tipos de fundición centrífuga:

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

2.3.1 *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 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.

El eje de rotación por lo general es horizontal, pero también se utilizan ejes rotacionales verticales principalmente para piezas cortas.

2.3.2 *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. 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 *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 los otros dos métodos de fundición centrífuga.

2.4 Diseño conceptual

2.4.1 Definición. 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.

2.4.2 Descripción del procedimiento.

2.4.2.1 Métodos de generación de ideas

Lluvia de ideas.- En esta técnica bajo ciertas reglas, los participantes generan ideas en torno a un tema, de manera que cada uno aporta una o varias ideas y se asigna a una persona la tarea de anotar todas las ideas propuestas.

Posteriormente las ideas son analizadas cuidadosamente para evaluar si son factibles o si hay posibilidad de convertirlas en realidad, tomando en cuenta la factibilidad científica o técnica, la factibilidad económica y otros aspectos.

Pensamiento proyectado.- Consiste en poner a trabajar de manera individual a los componentes del equipo. Cada uno va exponiendo sus ideas, ese es el momento de criticar las ideas de los otros ya que se le pone en evidencia.

La crítica cuanto más fuera de lugar mejor. Se van escribiendo todas las ideas que van surgiendo.

Sinéctica.- Una vez determinado el problema se inicia una tormenta de ideas buscando analogía de problemas similares en situaciones o productos diferentes.

De esta manera se va olvidando del problema inicial y se consigue resolver el problema a través de una analogía.

Métodos de velocidad.- De manera individual consiste en “cronómetro en mano y una hoja de papel”.

Diariamente ejercitar el músculo mental alrededor de un mismo problema. Cada día se nos irán ocurriendo más ideas y de mayor calidad.

Futurismo.- Pensar en cómo se resolvería el problema hoy en día si existieran tecnologías, materiales, procesos que no existen.

En definitiva, es pensar en una solución de futuro, pensar en cómo se haría hoy y que es lo que impide hacerlo.

2.4.2.2 *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, u 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.

2.4.2.3 *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.

2.5 Diseño preliminar

2.5.1 Definición. El 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 etc.

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.

2.5.2 Descripción del procedimiento.

2.5.2.1 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 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.

2.5.2.2 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.

2.5.2.3 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 etc.

2.6 Diseño detallado.

2.6.1 Definición. Es un proceso de definición y ampliación del diseño preliminar de un sistema o de un componente hasta un grado de detalle suficiente para llevar a cabo la implementación.

El diseño detallado representa el vínculo, para integrar todos los datos preliminares y conceptuales interdisciplinarios en una definición completa y terminada del producto requerido. Con el diseño detallado, se elabora toda la documentación que se necesita para la fabricación, con el fin de entregar un producto completo y totalmente definido.

2.6.2 Descripción del procedimiento.

2.6.2.1 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.

2.6.2.2 Manual de operación y mantenimiento. Culminado la construcción del prototipo y comprobado su funcionamiento es necesario elaborar un manual de operación y mantenimiento, el cual 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.

2.7 Materiales y equipos para la construcción del prototipo de la máquina centrífuga.

2.7.1 Aceros. Es una aleación de hierro y carbono (máximo 2.11% de carbono), al cual se le adicionan variados 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.

2.7.1.1 Clasificación. Los aceros se pueden clasificar de acuerdo a su utilización y su calidad.

Utilización.

- Aceros estructurales al carbono.
- Aceros estructurales de alta resistencia y aleación.
- Aceros al carbono para herramientas matrices.
- Aceros para trabajo en frío o indeformables.
- Aceros resistentes al choque 1.7 aceros rápidos.
- Aceros para trabajo en caliente.
- Aceros para propósitos especiales.
- Inoxidables.
 - Resistentes a la oxidación a alta temperatura.
 - resistentes al desgaste.
 - Para resortes.
 - Para usos eléctricos.
 - Otros

Calidad. De acuerdo con la calidad, los aceros se clasifican según el proceso de producción y van desde los aceros de calidad ordinaria obtenidos por proceso Bessemer, los Siemens Martín, los de hornos eléctricos, entre otros.

Hasta los aceros obtenidos por electro - refinación de escorias, desgasificación en vacío y procesos de pulvimetalurgia, para obtener aceros calidad herramienta.

Los aceros según la calidad se dividen en tres aplicaciones que son:

- Aceros para construcción de partes de maquinaria.
- Aceros para herramientas.
 - Aceros para temple.
 - Aceros para impacto.
 - Aceros para trabajo en frío: de temple en aceite.
 - Aceros para trabajo en frío de temple al aire.
 - Aceros para trabajo en frío. Alto cromo, alto carbono.
 - Aceros rápidos con base en molibdeno.
 - Aceros de uso específico, de baja aleación.
 - Aceros para usos específicos al carbono tungsteno.
 - Aceros para moldes para plásticos.
- Aceros Inoxidables.

2.7.1.2 Propiedades de los aceros. Aunque es difícil establecer las propiedades físicas y mecánicas del acero debido a que estas varían con los ajustes en su composición y los diversos tratamientos térmicos, químicos o mecánicos, con los que pueden conseguirse aceros con combinaciones de características adecuadas para infinidad de aplicaciones,

Se pueden citar algunas propiedades genéricas:

- Su densidad media es de 7850 kg/m³.
- En función de la temperatura el acero se puede contraer, dilatar o fundir.
- El punto de fusión del elemento principal del acero (el hierro) es de alrededor de 1.510 °C en estado puro (sin alear).
- Su punto de ebullición es de alrededor de 3.000 °C.
- Límite superior de trabajo en caliente 1300 °C
- Es un material muy tenaz.
- Relativamente dúctil y maleable.
- Permite una buena mecanización en máquinas herramientas.

- La dureza de los aceros varía entre la del hierro y la que se puede lograr mediante su aleación.
- Se puede soldar con facilidad.
- Posee una alta conductividad eléctrica.

2.7.1.3 Elementos de aleación

Carbono.- Es el elemento que tiene más influencia en el comportamiento del acero; al aumentar el porcentaje de carbono, mejora la resistencia mecánica, la templabilidad y disminuye la ductilidad.

Boro.- El Boro que se encuentra en el acero proviene exclusivamente de las adiciones voluntarias de este elemento en el curso de su fabricación.

Ejerce una gran influencia sobre la templabilidad del acero, bastando porcentajes muy pequeños, a partir de 0.0004%, para aumentarla notablemente.

Azufre.- Aumenta la maquinabilidad, ya que forma inclusiones no metálicas llamadas sulfuros de magnesio, discontinuidades en la matriz metálica que favorecen la formación de viruta corta.

Cromo.- Es un gran formador de carburos, aumenta la dureza y la resistencia al desgaste, y solo reduce la ductilidad. Mejora la resistencia a la alta temperatura y a la formación de cascarilla. En cantidades mayores al 12%, hace al acero resistente a la corrosión.

Fósforo.- Incrementa la resistencia y reduce la ductilidad de la ferrita. Aumenta la brillantez. Este elemento, en cantidades superiores al 0.004%, disminuye todas las propiedades mecánicas del acero.

Molibdeno.- Formador de carburos, reduce el crecimiento del grano, mejora la resistencia al desgaste y la capacidad de conservar la dureza a temperaturas altas.

Cobalto.- Elemento que desplaza las curvas TTT hacia la izquierda, aumentando la velocidad crítica y disminuyendo la templabilidad. Aumenta la dureza, y asociado al

níquel o al cromo, forman aceros de débil coeficiente de dilatación, cercano al vidrio. Aumenta la velocidad crítica de enfriamiento y en los aceros para trabajo en caliente y rápidos incrementa la disipación de temperatura.

Manganeso.- Mejora la resistencia a la tracción y al desgaste, tiene buena influencia en la forja, la soldadura y la profundidad de temple. Facilita el mecanizado.

2.7.1.4 Tratamientos térmicos. Son procesos de calentamiento, permanencia y enfriamiento que se somete a los materiales ferrosos con la finalidad de cambiar o modificar sus propiedades mecánicas y tecnológicas, y se clasifican en:

Temple.- Es un proceso de calentamiento seguido de un enfriamiento, generalmente rápido con una velocidad mínima llamada "crítica".

El temple es una condición que se produce en el metal o aleación por efecto del tratamiento mecánico o térmico impartándole estructuras y propiedades mecánicas características.

Los procedimientos térmicos que aumentan la resistencia a estas aleaciones son el tratamiento térmico en solución y el envejecimiento. [8]

Los factores que influyen en la práctica del temple son:

- El tamaño de la pieza.
- La composición química del acero.
- El tamaño del grano.
- El medio de enfriamiento.

Revenido.- Es un tratamiento complementario del temple, que generalmente sigue a éste. Al conjunto de los dos tratamientos también se le denomina "bonificado".

El tratamiento de revenido consiste en calentar al acero después de normalizado o templado, a una temperatura inferior al punto crítico, seguido de un enfriamiento controlado que puede ser rápido cuando se pretenden resultados altos en tenacidad, o lento, para reducir al máximo las tensiones térmicas que pueden generar deformaciones.

Los fines que se consiguen con este tratamiento son los siguientes:

- Mejorar los efectos del temple.
- Disminuir las tensiones internas de transformación.
- Modificar las características mecánicas.

Recocido.- El fin principal de los recocidos del acero es ablandar el material para poder trabajarlo mejor. Hay diversas clases de recocidos, que se diferencian en la temperatura máxima a que debe calentarse el acero y en las condiciones y velocidades de enfriamiento. Atendiendo a la temperatura máxima del calentamiento.

Los tipos de recocido son los siguientes:

- Recocidos supercríticos.
- De austenización incompleta.
- Recocido globular.
- Recocido de ablandamiento.
- Recocido contra acritud.
- Recocido de estabilización.

Normalizado.- El tratamiento térmico de normalización del acero se lleva a cabo al calentar aproximadamente a 20 °C por encima de la línea de temperatura crítica superior seguida de un enfriamiento al aire hasta la temperatura ambiente. El propósito de la normalización es producir un acero más duro y más fuerte que con el recocido total, de manera que para algunas aplicaciones éste sea el tratamiento térmico final.

2.7.2 Chumaceras. Se conoce como chumacera al dispositivo que permite el soporte para la rotación de un eje, está compuesto de una parte rotativa y una fija. Pueden ser de plástico, aluminio, acero y acero inoxidable. Además suelen venir en un cuerpo, o partidas.

Las chumaceras son puntos de apoyo de ejes y árboles para sostener su peso, guiarlos en su rotación y evitar deslizamientos. Las chumaceras van algunas veces colocadas directamente en el bastidor de la pieza o máquina, pero con frecuencia van montados en soportes convenientemente dispuestos para facilitar su montaje.

Dependiendo del montaje del árbol o eje con las chumaceras, el material del que estén hechas puede influir a la hora de su colocación, y posterior funcionamiento de toda la transmisión.

Si se consigue mantener continuamente separados el árbol y la chumacera por medio de una capa de lubricante evitando todo contacto sólido entre superficies de deslizamiento, entonces el material del que están formados no influye en nada sobre dicha calidad.

Sin embargo, el rozamiento fluido depende de unas condiciones de velocidad, carga y temperatura. De esta manera, para las velocidades bajas de arranque y parada, las chumaceras giran en sentido de rozamiento mixto cuando no seca, haciendo inevitable el contacto directo entre las superficies de fricción.

Figura 2. Chumacera de piso.



Fuente: <http://balerosyretenesindustriales.blogspot.com/2010/06/chumaceras.html>

2.7.2.1 *Tipos de chumaceras*

Chumaceras radiales de película fluida.- Toda máquina industrial pesada utiliza algún tipo de chumaceras de película fluida para soportar el peso del eje y controlar el movimiento causado por las fuerzas desbalanceadas, fuerzas aerodinámicas y excitaciones externas de los sellos y acoples. Las dos principales ventajas de las chumaceras de película fluida sobre los cojinetes de elementos rodantes son su superior capacidad para absorber energía, para amortiguar vibraciones y su longevidad debido a la ausencia de esfuerzos de contacto rodante.

La amortiguación es muy importante en muchos tipos de máquinas rotativas donde las chumaceras de película fluida son a menudo la principal fuente de absorción de energía necesaria para controlar las vibraciones.

Chumacera radial plana.- Este es el diseño más común de chumacera radial, donde el eje está totalmente encerrado por una cubierta cilíndrica plana. No hay precarga porque la superficie de la chumacera es concéntrica con la superficie del eje. Estas chumaceras tienen la más alta cupla cruzada de todas las chumaceras, por lo que es el diseño más desestabilizante rotodinámicamente; son adecuadas para ejes de baja velocidad altamente cargados los cuales no están sometidos a Inestabilidad rotodinámica.

Las ventajas son su bajo costo y fácil fabricación. Algunos ejemplos incluyen las chumaceras de cigüeñales de automotores, turbomaquinaria altamente cargada y muchas otras aplicaciones.

Chumaceras con ranuras axiales.- Es similar a la chumacera plana, pero con dos o más ranuras adicionales para el suministro de aceite. Igual a la chumacera plana, no hay precarga y tiene una alta tendencia a la inestabilidad.

Las ventajas son su bajo costo y fácil fabricación. Estas chumaceras son muy comunes en muchos tipos de maquinaria comercial incluyendo turbinas, generadores, motores, bombas y compresores.

Chumaceras elípticas.- denominadas también, de diámetro tipo limón son una variación de las chumaceras de ranuras donde la holgura se reduce en la dirección vertical para producir precarga y mejorar la estabilidad.

Sin embargo, esta chumacera aun genera esfuerzos de cupla cruzada, los cuales contribuyen a la inestabilidad y no siempre es suficiente para eliminar el giro del rotor.

Las chumaceras elípticas relativamente son de bajo costo y de fácil fabricación. Se pueden fabricar maquinando el perfil circular usando calzas insertadas en la junta horizontal; luego se retiran las calzas y se reensambla la chumacera obteniendo una holgura vertical reducida con el eje. Estas chumaceras se utilizan en maquinaria pesada que requiere buenas características de estabilidad.

Chumaceras de lóbulos múltiples.- Las chumaceras que son maquinadas con diámetros mayores que la tolerancia diametral del eje, creando una precarga que produce un efecto de estabilización sobre el eje y puede aumentar la capacidad de carga. Sin embargo, también puede consumir más potencia debido a la precarga.

Estas chumaceras pueden ser bidireccionales o unidireccionales, dependiendo de si los lóbulos tienen simetría.

Las chumaceras de lóbulos múltiples son costosas y difíciles de maquinar debido a las operaciones de precisión en el maquinado que se requieren. Comúnmente se usan en máquinas pequeñas, de alta velocidad que requieren alta capacidad de carga o alta estabilidad.

Chumaceras de dique de presión.- Es una chumacera de geometría fija muy útil para mejorar la estabilidad rotodinámica.

Se fresa una especie de bolsillo en la mitad superior (no cargada) de la chumacera el cual termina en un borde abrupto o dique. Allí se crea un pico de presión debido a los efectos de inercia del fluido.

Este pico de presión ejerce una carga hacia abajo sobre el eje, forzándolo a una mayor excentricidad la que inherentemente mejora la estabilidad debido a la asimetría que se induce en la rigidez y amortiguación.

Estas chumaceras producen relativamente altas pérdidas de potencia debido a la carga que generan. No son adecuadas para aplicaciones donde hay cambios en la dirección de la carga porque la mitad superior está maquinada con el dique.

Chumaceras de dados pivotados.- Es el diseño más recomendado universalmente para maquinaria que requiere máxima estabilidad rotodinámica. Consecuentemente se ha convertido en la norma con la cual se comparan otras chumaceras radiales.

La alta estabilidad rotodinámica viene por la reducción de la rigidez cruzada que ocurre cuando los dados están libres de oscilar sobre sus puntos de pivote individuales. Esto atenúa las fuerzas tangenciales desestabilizantes del aceite que pueden inducir

vibraciones subsíncronas catastróficas en máquinas equipadas con chumaceras de geometría fija convencional.

Para la selección de una chumacera es necesario realizar el análisis de tres factores importantes:

- Dimensiones geométricas.
- Cargas en las chumaceras.
- Propiedades del lubricante.

2.7.3 Motor eléctrico. [9] Es una máquina que transforma energía eléctrica en energía mecánica por medio de campos electromagnéticos variables.

Algunos de los motores eléctricos son reversibles, pueden transformar energía mecánica en energía eléctrica funcionando como generadores.

Los motores eléctricos de tracción usados en locomotoras o en automóviles híbridos realizan a menudo ambas tareas, si se los equipa con frenos regenerativos.

Su rendimiento es muy elevado (típicamente en torno al 75%, aumentando a medida que se incrementa la potencia de la máquina).

Este tipo de motores no emite contaminantes, aunque en la generación de energía eléctrica de la mayoría de las redes de suministro sí emiten contaminantes.

Figura 3. Motor eléctrico.



Fuente: www.drillspot.com/products/1403795/Weg_001_Motor

2.7.3.1 Aplicaciones. Los motores eléctricos se utilizan en la gran mayoría de las máquinas modernas. Su reducido tamaño permite introducir motores potentes en máquinas de pequeño tamaño, por ejemplo taladros o batidoras.

2.7.3.2 Sentido de giro. Para efectuar el cambio de sentido de giro de los motores eléctricos de corriente alterna se siguen unos simples pasos tales como:

- Para motores monofásicos únicamente es necesario invertir las terminales del devanado de arranque, esto se puede realizar manualmente o con relés conmutadores.
- Para motores trifásicos únicamente es necesario invertir dos de las conexiones de alimentación correspondientes a dos fases de acuerdo a la secuencia de trifases.
- Para motores de a.c. es necesario invertir los contactos del par de arranque.

2.7.3.3 Regulación de velocidad. En los motores asíncronos trifásicos existen dos formas de poder variar la velocidad, una es variando la frecuencia mediante un equipo electrónico especial denominado variador de frecuencia (VFD), y la otra es variando la polaridad gracias al diseño del motor eléctrico.

Esto último es posible en los motores de devanado separado, o los motores de conexión Dahlander, pero solo es posible tener un cambio de polaridad limitado. En los motores asíncronos las revoluciones por minuto son ligeramente menores por el propio asincronismo que indica su nombre, en estos se produce un desfase mínimo entre la velocidad de rotación (RPM) del rotor (velocidad "real" o "de salida").

2.7.4 Variador de frecuencia. (Siglas VFD, del inglés: Variable Frequency Drive o también denominado AFD Adjustable Frequency Drive).

Es un sistema para el control de la velocidad rotacional de un motor de corriente alterna (AC) por medio del control de la frecuencia de alimentación suministrada al motor. Un variador de frecuencia es un caso especial de un variador de velocidad.

Los variadores de frecuencia son también conocidos como drivers de frecuencia ajustable (AFD), drivers de CA, Microdrive's o inversores.

Dado que el voltaje es variado a la vez que la frecuencia, a veces son llamados drivers VVVF (variador de voltaje variador de frecuencia).

Figura 4. Variador de frecuencia.



Fuente:
<http://www.mecmod.com/fitxa.asp?id=414>

2.7.4.1 Principio de funcionamiento. Los dispositivos variadores de frecuencia operan bajo el principio de que la velocidad síncrona de un motor de corriente alterna CA está determinada por la frecuencia de CA suministrada y el número de polos en el estator, de acuerdo con la relación:

$$\text{RPM} = \frac{(120 \cdot f)}{p} \quad (3)$$

Dónde:

RPM = revoluciones por minuto.

f = frecuencia de suministro.

p = número de polos.

Las cantidades de polos más frecuentemente utilizadas en motores síncronos o en motores asíncronos son 2, 4, 6 y 8 polos que, siguiendo la ecuación citada, resultarían en 3000 RPM, 1500 RPM, 1000 RPM y 750 RPM respectivamente para motores síncronos únicamente y a la frecuencia de 50 Hz. Dependiendo de la ubicación geográfica funciona en 50 Hz o 60 Hz.

Comparativamente con la cantidad de RPM del campo magnético las cuales si deberían cumplir la ecuación arriba mencionada tanto en motores síncronos como en motores asíncronos, debido a que sólo es atraído por el campo magnético exterior que lo aventaja siempre en velocidad, de lo contrario el motor dejaría de girar en los momentos en los que alcanzase al campo magnético.

2.8 Sistemas de transmisión

Se usan para transmitir movimientos o potencia desde un punto hasta otro utilizando un elemento motriz o de entrada y el elemento conducido o de salida, siendo en los dos puntos el mismo tipo de movimiento. Los principales sistemas son: correas, cables y cadenas.

2.8.1 Poleas y correas. [10] Una polea es una rueda con una ranura que gira alrededor de un eje, por la que se hace pasar una correa que permite vencer una resistencia de forma cómoda aplicando una fuerza.

Las correas se utilizan para la transmisión de movimiento entre ejes paralelos, las correas suelen ser cintas de cuero flexibles y resistentes.

Características

- Largas distancias entre centros.
- Por el deslizamiento y arrastre la velocidad angular no es constante ni es exactamente igual la razón de los diámetros.
- En correas planas se puede obtener el efecto de embrague si se pasa de una polea libre a una polea de esfuerzo.
- Con correas trapezoides se puede lograr transmisiones con velocidad variable. En el cono de poleas acanaladas construidas de un cuerpo unidos con pernos regulables.
- Se puede cambiar la selección de velocidades con poleas escalonadas.

Tipos de correas

- Correas planas o bandas.

- Correas trapezoides o en V.
- Correa con múltiples poleas y escalonadas.

2.8.2 *Engranajes y cadenas.* Son ruedas dentadas que encajan entre sí, de modo que unas ruedas transmiten el movimiento circular a las siguientes.

Los engranajes giran de modo que, los más pequeños giran a mayor velocidad, de modo similar al caso de sistema de poleas con correas. En este caso, en lugar de tener en cuenta el diámetro de la polea, se tienen en cuenta el número de dientes de cada polea.

Las cadenas se utilizan para transmitir movimientos de rotación entre ejes paralelos su contorno es cilíndrico y sus dientes paralelos al eje de rotación.

Características

- Realizan grandes esfuerzos.
- No se deslizan entre sí.
- Trabaja a bajas revoluciones.

CAPÍTULO III

3. DISEÑO DEL PROTOTIPO DE LA MÁQUINA CENTRÍFUGA

3.1 Diseño Conceptual.

Se proyecta construir e implementar un prototipo de una máquina centrifugadora, para la obtención de cilindros huecos de aluminio sin costura, en el taller de fundición de la Facultad de Mecánica de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, máquina que debe tener las siguientes características:

- EL diseño del prototipo debe ser adecuado para obtener cilindros huecos de aluminio sin costura.
- El prototipo debe permitir la obtención del cilindro de aluminio con la geometría y medias requeridas.
- La estructura debe estar diseñada para soportar el peso del material fundido y los componentes del prototipo.
- La máquina debe ser capaz de soportar las vibraciones producidas por el proceso.
- EL motor debe ser el adecuado para generar la fuerza centrífuga requerida en el molde y así evitar el efecto lluvia.
- El prototipo debe generar menos residuos que los que se dan en los procesos convencionales como el de moldeo en arena.
- El molde debe ser capaz de resistir el calor producido por el aluminio fundido.
- El molde debe ser diseñado de tal modo que permita la salida de los gases de fundición durante el proceso de formación de la pieza, para evitar la porosidad.
- El molde debe ser diseñado con cierto grado de conicidad para permitir la fácil extracción de la pieza.
- El material refractario utilizado debe ser el adecuado para obtener una mejor calidad en el acabado superficial de la pieza.
- El tiempo de fabricación de la pieza, deber ser relativamente corto en relación a los otros procesos de fundición.
- El diseño del prototipo debe ser ergonómico y seguro ya que va a ser operado por personas.

3.1.1 *Lluvia de ideas.*

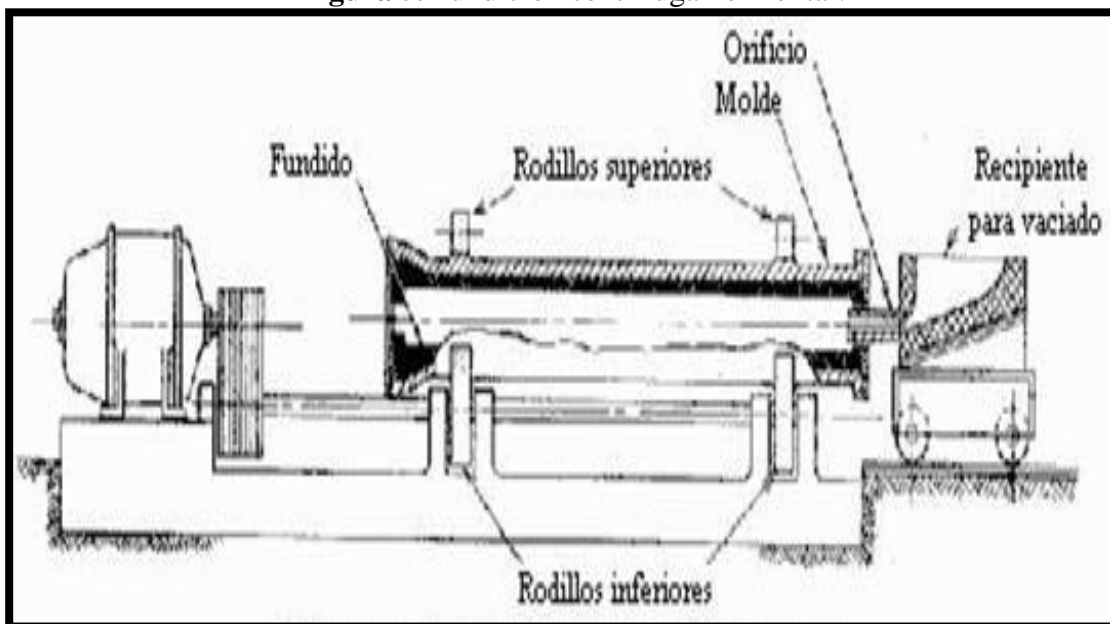
Procesos de moldeo centrífugo aplicables:

- Centrífuga real vertical.
- Centrífuga real horizontal.
- Semicentrífuga.
- Centrifugada.

3.1.2 *Bosquejo de alternativas.* Al analizar las posibles alternativas de diseño, es necesario realizar un bosquejo en el que se pueda visualizar de forma general, las diferentes partes que posiblemente formen el diseño.

Fundición centrífuga real horizontal.

Figura 5. Fundición centrífuga horizontal.

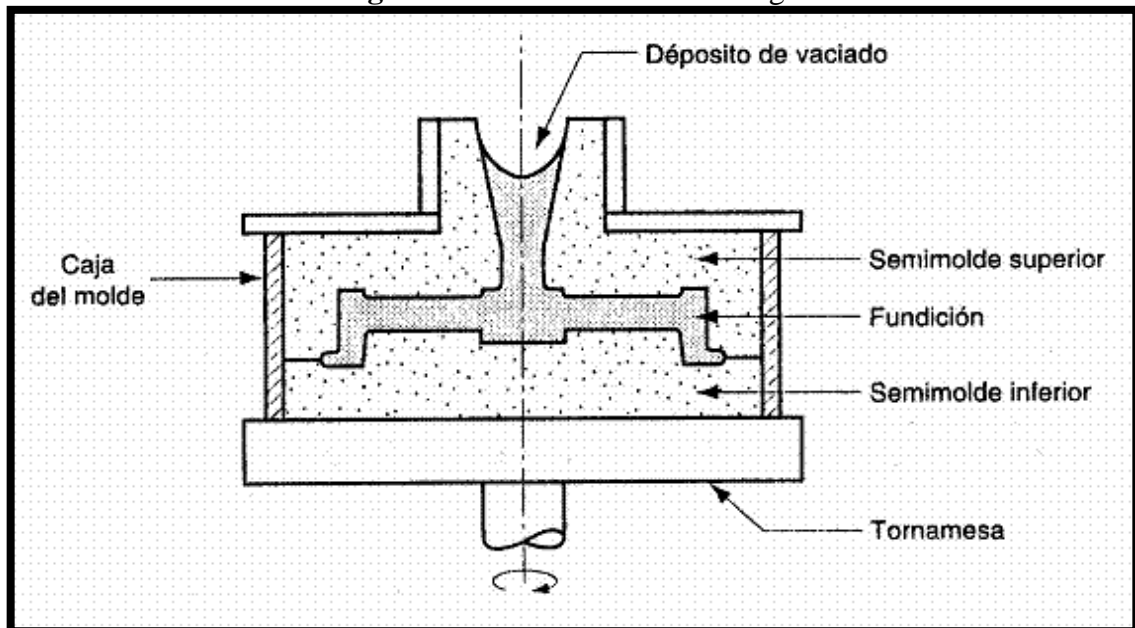


Fuente: www.aprendizaje.com.mx/Curso/Proceso1/Temario1_V.html

En la figura 5 se puede observar un bosquejo del proceso de fundición centrífuga real horizontal.

Fundición semicentrífuga.

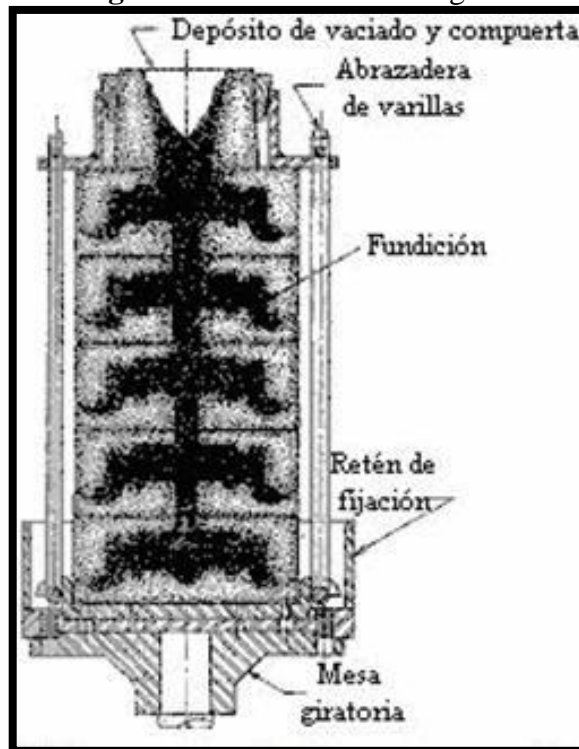
Figura 6. Fundición semicentrífuga.



Fuente: www.comosehace.cl/procesos/JavierRebolledo/fundicion_centrifuga.htm

Fundición centrífuga.

Figura 7. Fundición centrífuga.



Fuente: www.comosehace.cl/procesos/JavierRebolledo/fundicion_centrifuga.htm

3.1.3 Tabla morfológica. Una vez analizado las ideas generadas en el numeral 3.1.1, se ha descartado los tipos de fundición semicentrífuga y fundición centrifugada, ya que éstas no aplican para la fabricación del producto deseado. El proceso que se utilizará es la fundición centrífuga real.

Se ha incluido en la tabla los principales componentes del prototipo de la máquina centrífuga, para determinar el diseño más adecuado del cual se realizará el análisis correspondiente, donde S = satisfactorio, y Ns = no satisfactorio.

Tabla 1. Tabla morfológica.

		FUNDICIÓN CENTRÍFUGA REAL	
		fundición centrífuga real horizontal	fundición centrífuga real vertical
Sistema de transmisión	Bandas/Poleas	S	S
	Cadena/Piñón	S	Ns
Moldes	Permanentes	S	S
	No permanentes	Ns	S
Forma de la pieza a fundir	Cilindros huecos cortos	S	S
	Tuberías	S	Ns

Fuente: Autores.

En base a la tabla se ha encontrado diferentes alternativas de solución las que se describen a continuación.

- Fundición centrífuga real horizontal con sistema de transmisión bandas / poleas con molde permanente y fabricación de cilindros huecos cortos y tuberías.
- Fundición centrífuga real horizontal con sistema de transmisión cadena / piñón con molde permanente y fabricación de cilindros huecos cortos y tuberías.
- Fundición centrífuga real vertical con sistema de transmisión bandas / poleas con molde permanente fabricación de cilindros huecos cortos.
- Fundición centrífuga real vertical con sistema de transmisión bandas / poleas con molde no permanente y fabricación de cilindros huecos cortos.

Hay que tomar en cuenta que la fundición centrífuga vertical no es apta para la fabricación de cilindros que superen en longitud dos veces su diámetro.

3.2 Diseño preliminar.

Para realizar la selección de tipo de fundición más adecuada debemos definir las dimensiones de los cilindros huecos a obtener.

Se ha planteado lo siguiente:

Longitud: 30 cm.

Diámetro nominal: 7,62 cm. (3 pulg.)

3.2.1 Método de selección.

3.2.1.1 Matriz de selección. La valoración de las diferentes características según el tipo de fundición a utilizar, se la realiza en una escala de 1 a 10.

En esta matriz se evalúa los factores más relevantes que deseamos obtener del prototipo a diseñar.

Tabla 2. Matriz de selección.

Características \ Tipo de fundición	fundición centrífuga real horizontal	fundición centrífuga real vertical
	Obtención de cilindros huecos	10
Calidad en el acabado final	10	7
Costos	10	10
Disponibilidad de material	10	10
Ergonomía	9	10
Seguridad	8	8
Longitud de la pieza a obtener	10	6
Vibración	10	7
Forma de la pieza a obtener	10	10
TOTAL	87	76

Fuente: Autores.

Según la matriz de selección, y en base a las diferentes características calificadas, el tipo de fundición más adecuado sería el de fundición centrífuga horizontal.

Selección del sistema de transmisión.

Tabla 3. Matriz de selección.

	Costo	Transmisión de movimiento requerido	Mantenimiento	Velocidad de transmisión	Seguridad	TOTAL
Bandas/Poleas	9	10	10	9	7	45
Cadena/Piñón	7	6	8	8	7	36

Fuente: Autores.

Se ha seleccionado el sistema de transmisión de bandas y poleas.

3.2.2 Prototipo. Se ha determinado en base a la matriz de selección, que el proceso más adecuado para fabricar los cilindros huecos sin costura, es mediante fundición centrífuga horizontal utilizando un sistema de transmisión de Bandas / Poleas y empleando un tipo de molde permanente.

3.2.3 Ventajas

- Permite la obtención del cilindro de aluminio con la geometría y medias requeridas.
- Genera menos residuos que los que se dan en los procesos convencionales como el de moldeo en arena.
- El molde resiste el calor producido por el aluminio fundido.
- El tiempo de fabricación es relativamente corto en relación a los otros procesos de fundición.

3.3 Diseño detallado.

3.3.1 Molde. Para la determinación del molde se tomó en cuenta varios parámetros muy importantes, los cuales se describen a continuación:

- Para el dimensionamiento del diámetro interno (D_i) del molde se debe tomar en cuenta la contracción del aluminio que es de 1.75%.

- El espesor (E) del molde no debe ser demasiado estrecho ya que el momento del colado puede sufrir fuertes variaciones de temperatura, se calienta fuertemente en cada llenado y se enfría rápidamente en cada desmoldeo.
- Un espesor demasiado grande puede generar una inercia térmica, la cual necesita un largo calentamiento para la puesta en marcha del molde.
- El tipo de material que se utilice para la fabricación de molde debe tener un punto de fusión muy superior al metal a ser colado.
- El molde debe permitir la disminución de pérdidas del material colado.
- Debe poseer una conicidad del 3% en el diámetro interno (Di) para facilitar la extracción de la pieza.
- Cabe aclarar que el tipo de material a fundir no influye en el dimensionamiento pero si es un factor a tener en cuenta para la selección del material de construcción del mismo.

Bajo estas consideraciones para el espesor del molde se estableció cuatro veces el espesor de la pieza a ser colada, en nuestro caso el objetivo es obtener piezas fundidas de 76 milímetros de diámetro nominal, variando el espesor entre 1 a 8 mm.


El espesor que tome la pieza dependerá de la velocidad de giro y de la cantidad de colada que se introduzca en el molde.

3.3.1.1 Selección del material. Es recomendable usar aceros de bajo carbono para los moldes de centrifugado.

Aceros aleados y aceros con más del 0,3% no deberían ser usados, porque éstos están expuestos a agrietamiento, choque térmico, y esfuerzos por el calor del metal fundido.

Los materiales más adecuados son aceros 1018, 1020 o ASTM A106, Grado A. Se ha seleccionado para la construcción del molde el acero AISI 1018, debido a sus propiedades físicas y su disponibilidad.

Tabla 4. Propiedades del acero AISI 1018.

PROPIEDADES FÍSICAS ACERO AISI 1018	
Estado	Sólido
Color	Gris 
Densidad	7900 kg/m ³
Dureza	1300 Mpa
Coefficiente de Poisson	0,29
Conductividad térmica	47 W/(m.K), 0,112 cal/cm.s.°C
Calor específico	420 J/(kg.K)
Punto de fusión	1520 °C
Punto de ebullición	3000 °C
Límite superior de trabajo en caliente	1350 °C
Esfuerzo de fluencia	295 Mpa
Resistencia a la tracción	395 Mpa
Gravedad específica	7,83

Fuente: Autores.

3.3.1.2 Dimensionamiento

Molde. A partir de:

$$D_i = d_e \quad (4)$$

$$D_i = 76mm. + C$$

Dónde:

D_i : diámetro interior del molde.

d_e : diámetro exterior de la pieza.

C : contracción del aluminio.

Espesor.

$$E = 4e \quad (5)$$

$$E = 4(8\text{mm.})$$

$$E = 32\text{mm.}$$

Dónde:

E : espesor del molde.

e : espesor de la pieza.

Contracción.

$$C = 1.75\% Di \quad (6)$$

$$C = 1.75\% (76\text{mm})$$

$$C = 1,33\text{mm}$$

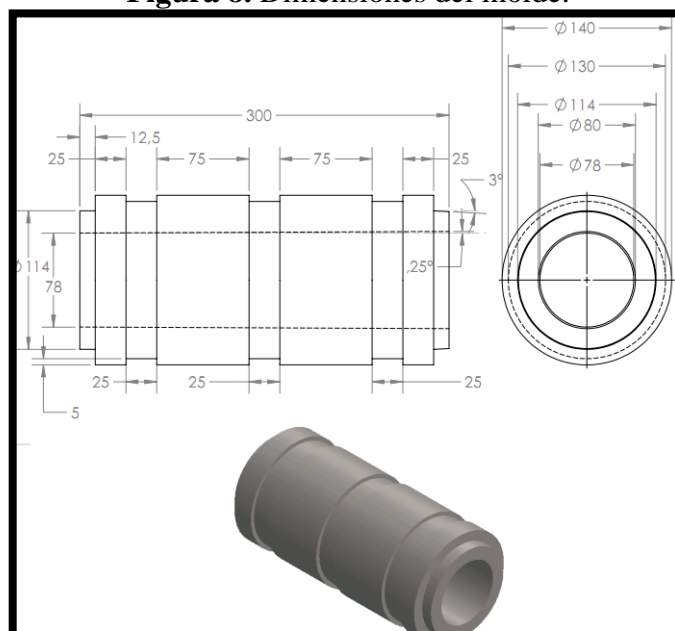
Diámetro exterior.

$$De = Di + 2E \quad (7)$$

$$De = (7,6 + 0,133) + 2(3,2)$$

$$De = 14,1\text{cm.}$$

Figura 8. Dimensiones del molde.



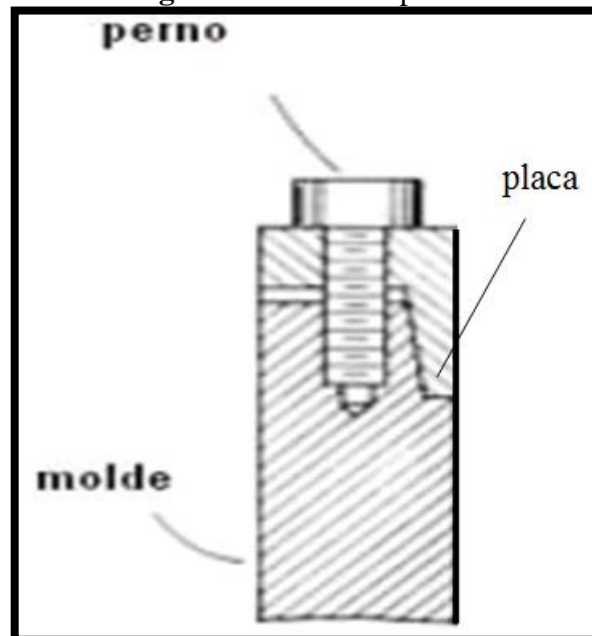
Fuente: Autores.

Placas. Para la placa de ingreso de colada, el orificio de ingreso del metal debería ser de por lo menos 12,7 milímetros, más pequeño en diámetro que el diámetro interior de la fundición pero lo suficientemente grande para permitir que el metal fundido entre al molde, por lo que se determinó un diámetro de 38 mm.

En la placa de salida o extremo se consideró un agujero para la evacuación de gases de un diámetro de 25 mm. El diámetro externo es de 140 mm en las dos tapas.

Al realizar la selección del diseño del cierre de las placas del molde, se consideró el diseño de la siguiente figura [11]. El mismo que evitará la fuga del material colado, además se considera para las placas, el mismo material del molde.

Figura 9. Diseño de placas.

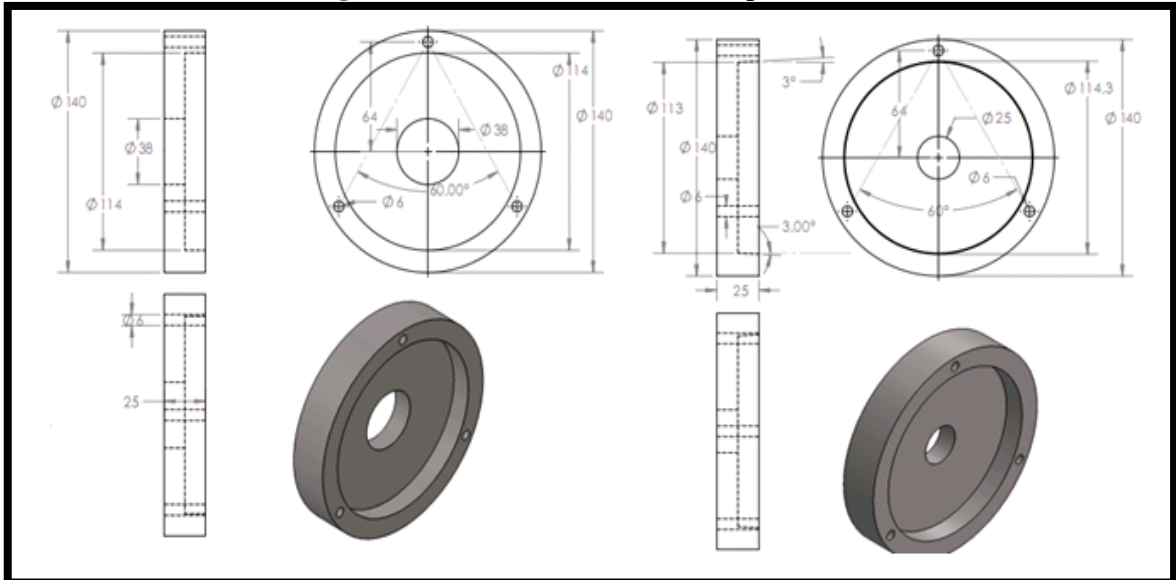


Fuente: ASM Metals Hand Book Volume
15 - Casting

El número de sujetadores, abrazaderas o cuñas usadas dependen del diámetro del molde.
El número de pernos recomendados son:

- Tres pernos en la circunferencia o diámetro exterior para moldes hasta los 250 mm (10 pulg) [12].
- Cuatro pernos en la circunferencia o diámetro exterior para moldes hasta los 500 mm (20 pulg).
- Cinco pernos en la circunferencia o diámetro exterior para moldes con más de 500 mm.

Figura 10. Dimensionamiento de placas.



Fuente: Autores.

3.3.1.3 Velocidad de giro.- Para determinar la velocidad de giro del molde se utilizó dos métodos: mediante la ecuación de velocidad de rotación de fundición centrífuga horizontal [13], y el uso del nomograma ASM HANDBOOK.

Utilizando para los dos métodos un factor G de 60 que se encuentra entre el rango de los valores recomendados para fundición centrífuga horizontal.

$$n = \frac{30}{\pi} \sqrt{2g \frac{GF}{Di}} \quad (8)$$

$$n = \frac{30}{\pi} \sqrt{2(9.8 \text{ m/s}^2) \frac{60}{0,077 \text{ m}}}$$

$$n = 1176,54 \text{ rpm}$$

Dónde:

n : velocidad de giro en RPM.

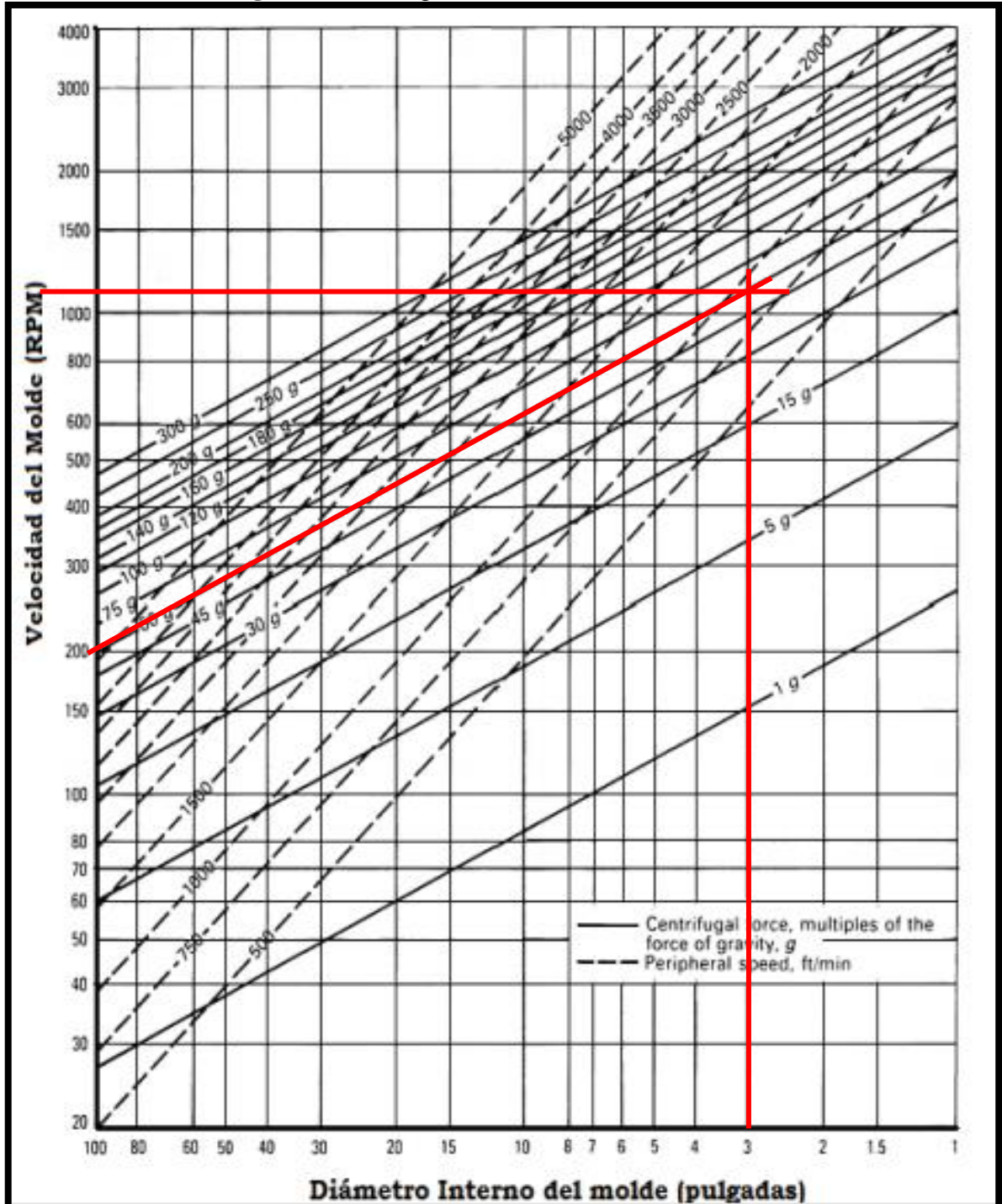
g : gravedad en (m/s²).

Di : diámetro interior del molde en (m).

GF : factor G que relaciona la fuerza centrífuga con el peso.

Mediante el uso del Nomograma de la ASM Handbook tenemos:

Figura 11. Nomograma de la ASM Handbook.



Fuente: ASM Metals Hand Book Volume 15 - Casting

Por lo que se determinó el número de revoluciones aproximado según la tabla que $n = 1150$ rpm.

Se seleccionó la velocidad de rotación del molde de 1176 rpm. Obtenido a partir de la ecuación (8).

3.3.1.4 Esfuerzos. Los esfuerzos radiales, anulares y longitudinales que se dan en el molde son generadas básicamente por la presión interna ejercida por el material colado.

Además es conocido que no existe presión externa, para realizar el análisis de esfuerzos debemos definir cuál es el estudio que se va a realizar.

En primer lugar debemos definir si el molde es un recipiente de pared gruesa o delgada para determinar este valor hacemos uso de la siguiente ecuación:

$$\frac{Rm}{t} \geq 10 \quad (9)$$

Dónde:

Rm: radio medio.

t: espesor del molde.

Si la relación entre el radio medio y el espesor del molde es mayor o igual que diez se considera un recipiente a presión delgada, caso contrario se lo considerará como recipiente de pared gruesa.

Para determinar el radio medio lo hacemos mediante el uso de la siguiente expresión:

$$Rm = \frac{(Ro+Ri)}{2} \quad (10)$$

Dónde:

Ro: radio externo del molde.

Ri: radio interno del molde.

$$Rm = \frac{(70 \text{ mm} + 38.75 \text{ mm})}{2}$$

$$Rm = 54.375 \text{ mm.}$$

Si $t = 31.25 \text{ mm}$ y $Rm = 54,375 \text{ mm}$, reemplazando en la (Ec 8) entonces tenemos:

$$\frac{54.375}{31.25} \geq 10.$$

$$1.74 \geq 10.$$

Por lo que en este caso se deberá realizar un análisis para recipientes de pared gruesa [14].

Presión interna.- Para poder determinar los esfuerzos que se dan en las paredes del molde es necesario conocer la presión interna [15] que se da debido a la rotación del metal fundido el cálculo de la presión interna está definido por:

$$P = \frac{F}{A} \quad (11)$$

Dónde:

P: presión ejercida en las paredes del molde.

F: fuerza centrífuga.

A: área interna del molde.

Fuerza centrífuga.- Es aquella que va a distribuir el metal fundido en las paredes internas del molde, esta fuerza ya explicada anteriormente está definida por:

$$F = \frac{mv^2}{R} \quad (12)$$

La masa que va a girar es de los cilindros de aluminio a obtener. Este cálculo lo podemos apreciar a continuación conjuntamente con la velocidad.

Volumen de la pieza:

$$VP = \pi Re^2 Lp - \pi Ri^2 Lp \quad (13)$$

Dónde:

VP: volumen de la pieza a obtener.

Re: radio externo de la pieza a obtener.

Ri: radio interno de la pieza a obtener.

Lp: longitud de la pieza a obtener.

$$VP = \pi(3.88 \text{ cm})^2 * 30 \text{ cm} - \pi(3,08)^2 * 30 \text{ cm}$$

$$VP = 524.7 \text{ cm}^3$$

$$VP = 0.0005247 \text{ m}^3$$

Masa de la pieza:

$$d = \frac{m}{V} \quad (14)$$

Dónde:

d: densidad.

m: masa.

V: volumen.

$$m = d * V \quad (15)$$

$$m = 2700 \text{ kg/m}^3 * 0.0005247 \text{ m}^3$$

$$m = 1.42 \text{ kg}$$

Determinación de la velocidad.

$$VRM = \frac{n * 2\pi * r}{60} \quad (16)$$

Dónde:

VRM: velocidad de rotación del molde (m/s).

N: revoluciones por minuto.

r: radio interior del molde (m) .

$$VRM = \frac{1176,54 * 2\pi * 0,038735 \text{ m}}{60}$$

$$VRM = 4,8 \text{ m/s}$$

Cálculo de la fuerza centrífuga:

ma: 1.42 kg.

v: 4.8 m/s.

ri: 0.038735 m.

Remplazando los valores en la (Ec 12) tendremos:

$$F = \frac{mv^2}{R}$$
$$F = \left(\frac{1.42 \text{ kg} \left(4.8 \frac{\text{m}}{\text{s}} \right)^2}{0.038735 \text{ m}} \right)$$
$$F = 844.63 \text{ N}$$

Área interna del molde:

$$A = 2\pi rh \quad (17)$$

$$A = 2\pi(0,038735m)(0.3048m)$$

$$A = 0,074 \text{ m}^2$$

Remplazando en la (Ec 11), la presión interna en el molde es:

$$P = \frac{844.63}{0,074} = 11414 \text{ Pa}$$

Las ecuaciones que definen los esfuerzos tanto, longitudinal, radial y anular están dadas por las ecuaciones mostradas en la (tabla 5). [16]

Esfuerzo anular.- La presencia de un esfuerzo tangencial o anular se puede visualizar aislando un anillo del molde como se indica en la figura 12. La presión interna P empuja hacia afuera alrededor el anillo. El anillo debe desarrollar un esfuerzo de tensión en una dirección tangencial a la circunferencia del anillo para resistir la tendencia de la presión a hacer estallar el molde.

Tabla 5. Ecuaciones de esfuerzos.

Tipo de esfuerzo	Esfuerzo en la posición r	Esfuerzo máximo
Longitudinal	$\tau_l = \frac{Pa^2}{b^2 - a^2}$	$\tau_l = \frac{Pa^2}{b^2 - a^2}$ (uniforme en toda la pared)
Anular (tangencial)	$\tau_t = \frac{Pa^2(b^2 + r^2)}{r^2(b^2 - a^2)}$	$\tau_t = \frac{P(b^2 + a^2)}{(b^2 - a^2)}$ (en la superficie interna)
Radial	$\tau_r = \frac{-Pa^2(b^2 - r^2)}{r^2(b^2 - a^2)}$	$\tau_r = -P$ (en la superficie interna)

Fuente: Resistencia de materiales aplicada - Robert L. Mott - 3Ed.

Dónde:

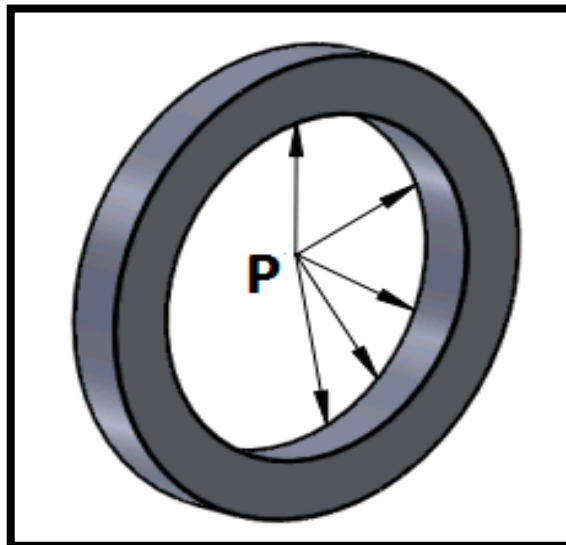
a: radio interno del molde.

b: radio exterior del molde.

r: cualquier radio entre a y b.

p: presión interna uniforme en todas las direcciones.

Figura 12. Esfuerzo anular.



Fuente: Autores.

Radio interno del molde: $a = 0.038735$ m.

Radio externo del molde: $b = 0,070$ m.

$$\tau_t = \frac{P(b^2+a^2)}{(b^2-a^2)} \quad (18)$$

$$\tau_t = \frac{11414 (0.070^2 + 0.038735^2)}{(0.070^2 - 0.038735^2)}$$

$$\tau_t = 21489.05 \text{ Pa}$$

Esfuerzo longitudinal.- Este esfuerzo se generará en toda la longitud del molde, es importante decir que este será constante en toda la longitud.

$$\tau_l = \frac{Pa^2}{b^2-a^2} \quad (19)$$

$$\tau_l = \frac{11414 * 0.038735^2}{0.070^2 - 0.038735^2}$$

$$\tau_l = 5037.52 \text{ Pa}$$

Esfuerzo radial.- El esfuerzo radial generado en el molde es un esfuerzo de compresión y varía desde cero en la superficie externa del molde hasta el máximo valor en la superficie interna, donde es igual a la presión interna.

$$\tau_r = -P \quad (20)$$

$$\tau_r = -11414 \text{ Pa}$$

Esfuerzos de diseño.- En el esfuerzo de diseño debe tener en cuenta el material del cual está hecho el recipiente el ambiente de operación y si la presión es constante o variable. La colada de aluminio ejercerá una presión estable sobre las paredes internas del molde por lo que el esfuerzo de diseño se puede basar en la resistencia a la cedencia del material, además todos los esfuerzos se han analizado con la máxima presión que se tendrá sobre el molde.

$$\tau_d = Sy/N \quad (21)$$

Dónde:

Td: esfuerzo de diseño.

Sy: cedencia del material.

N: factor de diseño.

Factor de Diseño.- La selección del factor de diseño N, [17] con frecuencia se hace conforme a un reglamento debido al peligro creado cuando un recipiente a presión falla. Esto es particularmente cierto en el caso de recipientes que contienen gases o vapor a presión porque las fallas producen la expulsión violenta del gas al liberarse un alto nivel de la energía almacenada.

Sin un reglamento, se usará $N = 4$ como el valor mínimo y se debe utilizar valores mayores en aplicaciones críticas o donde exista incertidumbre con respecto a las condiciones de operación o las propiedades del material, en nuestro caso utilizaremos un factor de diseño $N = 5$, debido a que no existe un reglamento especificado que estandarice los factores de diseño en moldes centrífugos.

El esfuerzo máximo es el anular $21489.05 Pa$ por lo tanto la resistencia a la cedencia requerida del material es de:

$$S_y = \tau t \cdot N \quad (22)$$

$$S_y = 21489.05 Pa \cdot 5$$

$$S_y = 107445.25 Pa$$

$$S_y = 0.11 MPa$$

Tabla 6. Resistencia a la cedencia. [18]

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

Fuente: Resistencia de materiales aplicada - Robert L. Mott - 3Ed.

Por lo que podemos determinar que el molde no se va a ver afectado por la presión ejercida del aluminio [19] debido a la fuerza centrífuga sobre la pared interior del mismo.

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

Conocido el procedimiento que se va a dar en el molde durante el proceso de colado y posterior enfriado, se ha definido que existe un proceso de transferencia de calor por conducción.

Para este análisis debemos hacer uso de la ley de Fourier [20], 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 (re). Este análisis se lo realiza para conocer el comportamiento de la temperatura en el molde una vez que el aluminio fundido ingresa al mismo.

$$Q = \frac{2\pi Lk(Ti-Te)}{\ln \frac{re}{ri}} \quad (23)$$

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 [21].

Tabla 7. 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: Manual del aluminio volumen 1 segunda edición editorial reverté s.a.

Si consideramos que el aluminio ingresa al molde a una temperatura de 800 °C el calor específico de éste será de 1060 J/kg.K.

Al realizar el análisis de transferencia de calor en el molde tenemos:

$$Q = \frac{2\pi \cdot 0.3m \cdot 0,67 \frac{Kcal}{(m. min. ^\circ C)} (800^\circ C - 200^\circ C)}{\ln \frac{0,14}{0.07}}$$

$$Q = 1093.20 \text{ Kcal/min}$$

Es decir que del interior del molde se pierde 1093.20 Kcal/min de energía calorífica.

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

$$Q = m \cdot Ce \cdot (T_i - T_2) \quad (24)$$

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.

$$Q = 1,42 \text{ kg} \cdot 0,217 \text{ kcal/kg}^\circ\text{C} \cdot (100 - 800)^\circ\text{C}$$

$$Q = -215,7 \text{ kcal}$$

Este resultado nos indica que el aluminio debe perder 215,7 kcal de energía calorífica para poder ser retirado del molde a una temperatura de 100 °C.

Entonces:

Pérdida de calor en el molde 1093.20 Kcal/min.

Pérdida de calor requerida en el aluminio 215,7 kcal.

$$\begin{array}{ll} 1093.20 \text{ kcal} & 60 \text{ s} \\ 215,7 \text{ kcal} & x = 11.83 \text{ segundos} \end{array}$$

Por lo que teóricamente el aluminio puede ser retirado una vez transcurrido 11.83 segundos.

3.3.2 Sistema de transmisión. Para el diseño del sistema de transmisión se ha tomado 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 a estar sometido.

3.3.2.1 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.

Inicialmente debemos conocer la potencia que se desea transmitir para el movimiento del molde, esto lo calculamos a partir de la siguiente ecuación [22]:

$$P = M \cdot W \quad (25)$$

Dónde:

P: potencia requerida.

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

W: velocidad angular.

El torque mínimo necesario para generar el movimiento en el molde está definido por la siguiente ecuación [23]:

$$M = I \cdot \alpha \quad (26)$$

Dónde:

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

α : aceleración angular requerida.

Momento de inercia del molde.- El molde al ser su configuración igual al de un cilindro hueco, su momento de inercia en el eje de rotación x está definido por la siguiente ecuación:

$$I_m = \frac{1}{2} M (R_1^2 + R_2^2) \quad (27)$$

Dónde:

I_m : inercia del molde.

M: masa del molde (kg).

R_1 : radio interno del molde (m).

R_2 : radio externo del molde (m).

$$I_m = \frac{1}{2} 26.87 \text{ kg} [(0,069\text{m})^2 + (0,0387)^2]$$

$$I_m = 0,08576 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$$

Por lo que el momento de inercia es de $0,08576 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$.

Inercia de la pieza.- De igual forma al ser la pieza a obtener un cilindro hueco sin costura, su momento de inercia en el eje de rotación x está definido por la misma ecuación con la que se determina el momento de inercia del molde:

$$I_p = \frac{1}{2} M(R_1^2 + R_2^2)$$

Dónde:

I_p : inercia de la pieza.

M : masa de la pieza (kg).

R_1 : radio interno de la pieza (m).

R_2 : radio externo de la pieza (m).

$$I_p = \frac{1}{2} 1.42 \text{ kg} [(0,0387)^2 + (0,0154)^2]$$

$$I_p = 1,23 \times 10^{-3} \text{ kg} \cdot \text{m}^2$$

Inercia total del conjunto

$$IT = Im + Ip \tag{28}$$

Dónde:

I_p : inercia de la pieza.

M : masa de la pieza (kg).

R_1 : radio interno de la pieza (m).

R_2 : radio externo de la pieza (m).

$$IT = +1,23 \times 10^{-3} \text{ kg} \cdot \text{m}^2$$

$$IT = 0,08576 \text{ kg} \cdot \text{m}^2 + 1,23 \times 10^{-3} \text{ kg} \cdot \text{m}^2$$

$$IT = 0,086 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$$

Aceleración angular.- La aceleración angular está definida por:

$$\alpha = W/t \quad (29)$$

Dónde:

α : aceleración angular.

W: velocidad angular.

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

Según el nomograma analizado anteriormente, las revoluciones en las cuales debe estar sometido el molde respecto de su diámetro interno es de:

$$V = 1176,54 \text{ RPM.}$$

Dando así una velocidad angular de $W = 123.2 \text{ rad/s}$.

El tiempo que se asume para que el molde alcance dicha velocidad angular es de 2 segundos, reemplazando en la (Ec 29) tenemos:

$$\alpha = \frac{123.2 \text{ rad/s}}{2 \text{ s}}$$

$$\alpha = 61.6 \frac{\text{rad}}{\text{s}^2}$$

Sustituyendo los valores en la (Ec 26), tenemos:

$$M = IT \cdot \alpha$$

$$M = IT \cdot 61.6 \text{ rad/s}^2$$

$$M = (0,087 \text{ kg} \cdot \text{m}^2) \cdot 61.6 \text{ rad/s}^2$$

$$M = 5,35 \text{ N} - \text{m}$$

De la (Ec 25), la potencia es:

$$P = M \cdot W$$

$$P = 5,35 \text{ N} - \text{m} \cdot 123.2 \text{ rad/s}$$

$$P = 660.17 \text{ watts}$$

La potencia requerida para generar movimiento en el molde es de 660.17 watts equivalente a 0.885 hp.

Es decir la potencia transmitida por el eje deberá ser superior a 0.8 hp por lo que se considera para el diseño, un motor de 1 hp.

3.3.2.2 Transmisión. Considerando las revoluciones a las que debe girar el molde con la potencia requerida ya analizada, se debe realizar un análisis para conocer las revoluciones a las que deben estar girando los rodos para generar el número de revoluciones necesario en el molde por lo que se realiza un análisis entre los rodos y el molde, por el principio de transmisión entre ruedas de fricción tenemos:

$$n1 \cdot d1 = n2 \cdot d2 \quad (30)$$

Dónde:

n1: número de revoluciones a la que gira el molde.

d1: diámetro del molde en contacto con el rodo.

n2: número de revoluciones del rodo.

d2: diámetro del rodo en contacto con el molde.

$$n2 = \frac{n1 \cdot d1}{d2} \quad (31)$$

$$n2 = \frac{1176,54 \text{ rpm} * 5,11 \text{ pulg}}{5 \text{ pulg}}$$

$$n2 = 1202.42 \text{ rpm}$$

Los rodos acoplados al eje deberían generar un movimiento de 1202.42 rpm si el sistema de transmisión fuese ideal, una consideración importante es que al estar en contacto por rozamiento el rodo con el molde se produce, por resbalamiento, una pérdida de velocidad.

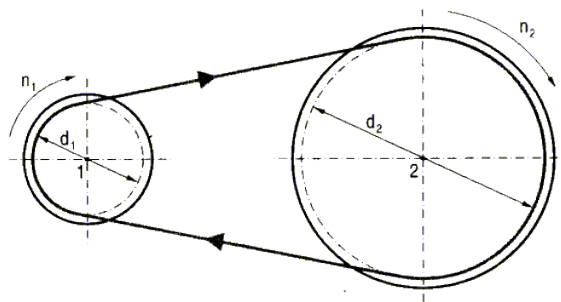
Considerando que la efectividad del sistema sea del 92% y se genere un 8% en pérdidas la velocidad corregida de giro en los rodos es de:

$$n_2 = 1298.61 \text{ rpm}$$

$$n_2 = 1300 \text{ rpm}$$

Reductor de velocidad.- Conocidas las revoluciones de los rodos conectados al eje es necesario realizar el reductor de velocidad del motor al eje de transmisión.

Figura 13. Reductor de velocidad.



Fuente: Autores.

Si se consideran dos poleas de diámetros d_1 y d_2 que giran a una velocidad n_1 y n_2 respectivamente, tal y como se indica en la figura, al estar ambas poleas unidas entre sí por medio de una correa, las dos recorrerán el mismo arco, en el mismo período de tiempo, usando la (Ec 30) tenemos:

$$n_1 \cdot d_1 = n_2 \cdot d_2$$

Dónde:

n_1 : número de revoluciones de la polea conductora.

d_1 : diámetro de la polea conductora.

n_2 : número de revoluciones de la polea conducida.

d_2 : diámetro de la polea conducida.

De donde se deduce que los diámetros son inversamente proporcionales a las velocidades de giro, y por tanto, para que el mecanismo actúe como reductor de velocidad, la polea motriz ha de ser de menor diámetro que la polea conducida.

En caso contrario actuará como mecanismo multiplicador. El sentido de giro de ambos ejes es el mismo.

Cuanto mayor sea el tensado, el ángulo de contacto entre polea y correa, y el coeficiente de rozamiento, tanto mayor será la carga que puede ser transmitida por el accionamiento de correas y poleas.

Poleas. - El tamaño de una polea se indica con su diámetro de paso, el cual es menor que su diámetro exterior.

La relación de velocidades de las poleas motriz y conducida es inversamente proporcional a la relación de los diámetros de paso. Esto es consecuencia de la observación de que allí no existe deslizamiento (bajo cargas normales). Así la velocidad lineal de la línea de paso de ambas poleas es igual a la velocidad de la banda [24]:

$$vb = R1 \cdot W1 = R2 \cdot W2 \quad (32)$$

Dónde:

$$R1 = \frac{D1}{2}$$

$$R2 = \frac{W2}{2}$$

Entonces:

$$vb = \frac{(D1 \cdot W1)}{2} = \frac{(D2 \cdot W2)}{2} \quad (33)$$

Por lo que la relación de velocidades angulares es de:

$$\frac{W1}{W2} = \frac{D2}{D1} \quad (34)$$

Al estar la polea conducida en el mismo eje de rotación de los rodos esto hace que tenga las mismas revoluciones, 1300 rpm, las cuales son necesarias para que el molde gire es decir, estas revoluciones son las que debe suministrar el sistema de reducción de velocidad. Se considera las dimensiones de las poleas existentes en el mercado para las poleas conductora y conducida siendo su diámetro de paso de 3.4 y 4.4 pulgadas respectivamente.

Bajo estas características el sistema de reducción de velocidad quedaría definido de la siguiente manera:

n1: ?

d1: 3,4 pulg.

d2: 4,4 pulg.

n2: 1300 rpm.

$$n1 = \frac{(n2*d2)}{d1} \quad (35)$$

$$n1 = \frac{(1300 \text{ rpm} * 4,4 \text{ pulg})}{3,4 \text{ pulg}}$$

$$n1 = 1682 \text{ rpm}$$

El motor debe girar a 1682 rpm, esto es en condiciones óptimas, dado que el sistema de transmisión por bandas en V tiene una eficiencia de entre el 96 y 97 %. Las revoluciones a las que gira el motor deberán ser corregidas para compensar el porcentaje de pérdidas.

Es decir que para que se genere una velocidad de 1300 rpm en el eje transmisor, el motor deberá girar a una velocidad de 1730 rpm.

Distancia entre centros.- En general la distancia entre centros no debe ser mayor que 3 veces la suma de los diámetros de las poleas o menor que el diámetro de la polea mayor.

$$C \geq 3 (D + d) \quad (36)$$

$$C < D \quad (37)$$

Dónde:

C: distancia entre los centros de las poleas.

D: diámetro de la polea conducida.

d: diámetro de la polea conductora.

Por lo que se determinó que respecto al diseño del prototipo a obtener la distancia entre los centros es:

$$C = 2 (4.4 \text{ pulg.} + 3,4 \text{ pulg.})$$

$$C = 15,6 \text{ pulg.}$$

Selección de la banda.- Debido a las características analizadas en los diferentes tipos de bandas estándares existentes en el mercado, el tipo de banda a utilizarse es una banda en V trapecial.

Este tipo de bandas son muy utilizadas en el campo industrial debido a que su forma en V hace que se acúñe firmemente, lo cual incrementa la fricción y permite la transmisión de grandes pares torsionales, sin que exista un alto porcentaje de deslizamiento en la ranura.

Para la selección de la banda primero se selecciona un factor de servicio de sobrecarga en base a la (tabla 8).

El factor de servicio seleccionado es un $K_s = 1.1$ debido a que tendremos un impulso uniforme con momento torsional normal.

Tabla 8. Factores de servicio sugeridos K_s para transmisión de bandas en V.

	FUENTE DE POTENCIA MOTRIZ	
Característica del impulso	Momento torsional Normal	Momento torsional Alto
Uniforme	1.0 a 1.2	1.1 a 1.3
Choque ligero	1.1 a 1.3	1.2 a 1.4
Choque mediano	1.2 a 1.4	1.4 a 1.6
Choque fuerte	1.3 a 1.5	1.5 a 2.8

Fuente: Diseño en ingeniería mecánica - Joshep Shigley y Charles Mischke, sección 17.3

El segundo paso para la selección de la banda se lo realiza en base a la (tabla 9) [25]:

Tabla 9. Tipo de bandas en V.

TIPO DE BANDAS EN V				
Sección	Ancho a, in	Ancho b, in	Mínimo diámetro de la polea, in	Potencias para una o más bandas, hp
A	$\frac{1}{2}$	$\frac{11}{32}$	3.0	$\frac{1}{4}$ -10
B	$\frac{21}{32}$	$\frac{7}{16}$	5.4	1-25
C	$\frac{7}{8}$	$\frac{17}{32}$	9.0	15-100
D	$1 \frac{1}{4}$	$\frac{3}{4}$	13.0	50-250
E	$1 \frac{1}{2}$	1	21.6	100 o mayor

Fuente: Diseño en ingeniería mecánica - Joshep Shigley y Charles Mischke.

Las características de la banda seleccionada se muestran en el siguiente cuadro de resumen:

Tabla 10. Banda seleccionada.

BANDA SELECCIONADA	
Sección	A
Ancho	$\frac{1}{2}$ Pulg.
Espesor	$\frac{11}{32}$ pulg.
Mínimo diámetro de polea (in)	3.0
Potencia para una o más bandas (hp)	$\frac{1}{4}$ - 10

Fuente: Autores.

Determinación de la potencia de diseño de banda. Para determinar la potencia de diseño se debe relacionar la potencia que se desea transmitir con el factor de servicio K_s determinado en la (tabla 8).

$$P_{\text{diseño}} = \text{Potencia a transmitir} \cdot \text{factor de servicio} \quad (38)$$

$$P_{\text{diseño}} = 1 \text{ hp} \cdot 1.1$$

$$P_{\text{diseño}} = 1 \text{ hp} \cdot 1.1$$

$$P_{\text{diseño}} = 1.1 \text{ hp}$$

Longitud de paso de banda.- La longitud efectiva o de paso de una banda en V, se determina relacionando los diámetros de la polea conductora y conducida y la distancia entre centros y está definida por la siguiente ecuación:

$$Lp = 2C + 1.57(D + d) + \frac{(D-d)^2}{4C} \quad (39)$$

Dónde:

C: distancia entre centros.

D: diámetro de paso de la polea mayor.

d: diámetro de paso de polea menor.

Lp: longitud de paso de la banda.

$$Lp = 2(15,6) + 1.57(4,4 + 3,4) + \frac{(4,4 - 3,4)^2}{4(15,6)}$$

$$Lp = 43,46 \text{ pulg.}$$

Longitud de paso estándar.- Una vez obtenida la longitud de paso teórica la verificamos con las longitudes estandarizadas [26].

A partir de la (tabla 11) seleccionamos la longitud de paso en base a la sección de la banda.

Tabla 11. Longitud de paso estándar.

Sección	CIRCUNFERENCIA, in.
A	26, 31, 33, 35, 38, 42, 46, 48, 51, 53, 55, 57, 60, 62, 64, 66, 68, 71, 75, 78, 80, 85, 90, 96, 105, 112, 120, 28.
B	35, 38, 42, 46, 48, 51, 53, 55, 57, 60, 62, 64, 65, 66, 68, 71, 75, 78, 79, 81, 83, 85, 90, 93, 97, 100, 103, 105, 112, 120, 128, 131, 136, 144, 158, 173, 180, 195, 210, 240, 270, 300.
C	51, 60, 68, 75, 81, 85, 90, 96, 105, 112, 120, 128, 136, 144, 158, 162, 173, 180, 195, 210, 240, 270, 300, 360, 390, 420.
D	120, 128, 144, 158, 162, 173, 180, 195, 210, 240, 270, 300, 330, 360, 390, 420, 480, 540, 600, 660.
E	180, 195, 210, 240, 270, 300, 330, 360, 390, 420, 480, 540, 600, 660

Fuente: Diseño en ingeniería mecánica - Joshep Shigley y Charles Mischke sección 17.3.

El tamaño estándar o normal más próximo es A 42.

Para obtener la longitud de paso de la banda hacemos uso de la tabla siguiente:

Tabla 12. Longitud de banda corregida.

Sección de banda	A	B	C	D	E
Cantidad a sumar	1.3	1.8	2.9	3.3	4.5

Fuente: Diseño en ingeniería mecánica - Joshep Shigley

Por lo que la longitud de paso de banda es de 43.3 pulg.

Velocidad de la banda. Se debe determinar la velocidad de la banda en la polea menor, y en base a este valor poder calcular la potencia nominal de diseño de la banda.

$$V = \frac{\pi \cdot d \cdot n}{12} \quad (40)$$

$$V = \frac{\pi \cdot 3.4 \cdot 1732}{12}$$

$$V = 1542 \text{ ft/min}$$

Por lo que la velocidad lineal de la banda es de 1542 ft/min.

Tabla 13. Potencia nominal en hp de bandas en V estándares.

Sección de banda	Diámetro de paso de polea, in	Velocidad de la banda ft/min				
		1000	2000	3000	4000	5000
A	2.6	0.47	0.62	0.53	0.15	
	3.0	0.66	1.01	1.12	0.93	0.38
	3.4	0.81	1.31	1.57	1.53	1.12
	3.8	0.93	1.55	1.92	2.00	1.71
	4.2	1.03	1.74	2.20	2.38	2.19
	4.6	1.11	1.89	2.44	2.69	2.58
	5.0 o mas	1.17	2.03	2.64	2.96	2.89
B	4.2	1.07	1.58	1.68	1.26	0.22
	4.6	1.27	1.99	2.29	2.08	1.24
	5.0	1.44	2.33	2.80	2.76	2.10
	5.4	1.59	2.62	3.24	3.34	2.82
	5.8	1.72	2.87	3.61	3.85	3.45
	6.2	1.82	3.09	3.94	4.28	4.00
	6.6	1.92	3.29	4.23	4.67	4.48
	7.0 o mas	2.01	3.46	4.49	5.01	4.90
C	6.0	1.84	2.66	2.72	1.87	
	7.0	2.48	3.94	4.64	4.44	3.12
	8.0	2.96	4.90	6.09	6.36	5.52
	9.0	3.34	5.65	7.21	7.86	7.39
	10.0	3.64	6.25	8.11	9.06	8.89
	11.0	3.88	6.74	8.84	10.0	10.1
	12.0 o mas	4.09	7.15	9.46	10.9	11.1
D	10.0	4.14	6.13	6.55	5.09	1.35
	11.0	5.00	7.83	9.11	8.50	5.62
	12.0	5.71	9.26	11.2	11.4	9.18
	13.0	6.31	10.5	13.0	13.8	12.2
	14.0	6.82	11.5	14.6	15.8	14.8
	15.0	7.27	12.4	15.9	17.6	17.0
	16.0	7.66	13.2	17.1	19.2	19.0
	17.0 o mas	8.01	13.9	18.1	20.6	20.7
E	16.0	8.68	14.0	17.5	18.1	15.3
	18.0	9.92	16.7	21.2	23.0	21.5
	20.0	10.9	18.7	24.2	26.9	26.4
	22.0	11.7	20.3	26.6	30.2	30.5
	24.0	12.4	21.6	28.6	32.9	33.8
	26.0	13.0	22.8	30.3	35.1	36.7
	28.0 o mas	13.4	23.7	31.8	37.1	39.1

Fuente: Diseño en ingeniería mecánica - Joshep Shigley y Charles Mischke sección 17.3

Del resultado de la tabla por interpolación la potencia nominal de diseño para la banda es de 1,08 hp. Esto además deberá ser corregido por el ángulo de contacto y la longitud de la banda.

Corrección por el ángulo de contacto y longitud de banda.- Ángulo de contacto en la polea menor:

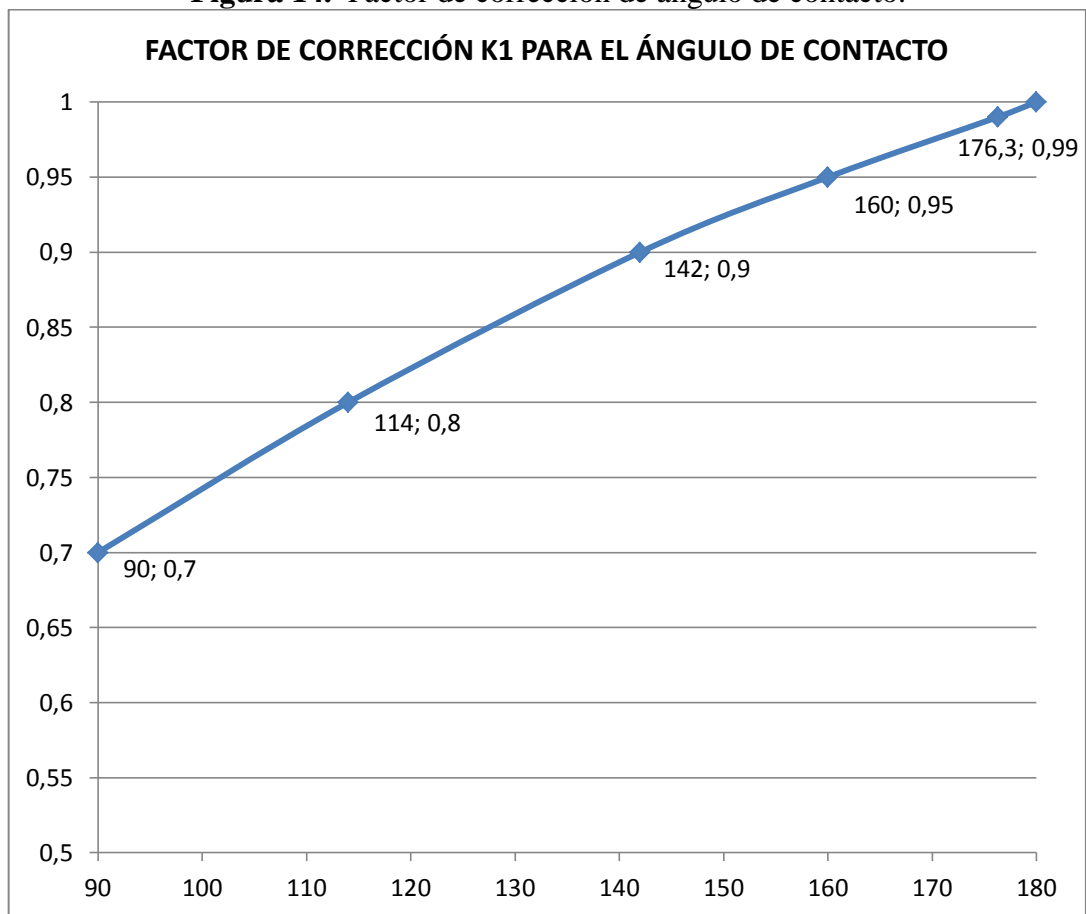
$$\theta d = \pi - 2 \operatorname{sen}^{-1} \frac{D-d}{2c} \quad (41)$$

$$\theta d = \pi - 2 \operatorname{sen}^{-1} \frac{4,4 - 3,4}{2(15,6)}$$

$$\theta d = 176,3^\circ$$

Determinación del factor de corrección para el ángulo de 176.3 °C.

Figura 14. Factor de corrección de ángulo de contacto.



Fuente: Diseño en ingeniería mecánica - Joshep Shigley y Charles Mischke sección 17.3

El factor de corrección es de 0,99.

Tabla 14. Factor de corrección para la longitud de la banda.

Factor de longitud	LONGITUD DE BANDA NOMINAL , in				
	A	B	C	D	E
0.85	Hasta 35	Hasta 46	Hasta 75	Hasta 128	
0.90	38-46	48-46	81-96	144-162	Hasta 195
0.95	48-55	62-75	105-120	173-210	210-240
1.00	60-75	78-97	128-158	240	270-300
1.05	78-90	105-120	162-195	270-330	330-390
1.10	96-112	128-144	210-240	360-420	420-480
1.15	120 o mas	158-180	270-300	480	540-600
1.20		195 o mas	330 o mas	540 o mas	660

Fuente: Diseño en ingeniería mecánica - Joshep Shigley y Charles Mischke sección 17.3

Por lo que el factor de corrección por longitud de banda es de: 0,90. Por lo tanto, la potencia de diseño corregida (P_{dc}) viene dada por:

$$P_{dc} = p_n \cdot a_c \cdot f_c \quad (42)$$

Dónde:

p_n = potencia nominal.

a_c = ángulo de corrección.

f_c = factor de corrección por longitud de banda.

$$P_{dc} = 1,08 \cdot 0,99 \cdot 0,90$$

$$P_{dc} = 0,96$$

Una vez conocida la potencia de diseño y determinada la potencia de diseño corregida podemos determinar el número de bandas que se debe utilizar para una transmisión de potencia efectiva.

Es así que:

$$N = \frac{p_d}{p_{dc}}$$

$$N = \frac{1.1}{0,96}$$

$$N = 1.1 \text{ BANDAS}$$

3.3.2.3 Ejes de transmisión.- Para encontrar el diámetro, el valor de las flechas y los esfuerzos de los ejes de transmisión se determinó las cargas que actúan en los ejes y son: el molde, rodos para el eje conducido y la carga del molde, rodos y la polea para el eje transmisor.

Por lo que tenemos:

Figura 15. Eje transmisor.



Fuente: Autores.

Las cargas que actúan en el eje transmisor son las siguientes:

Polea = 4,31 lbf

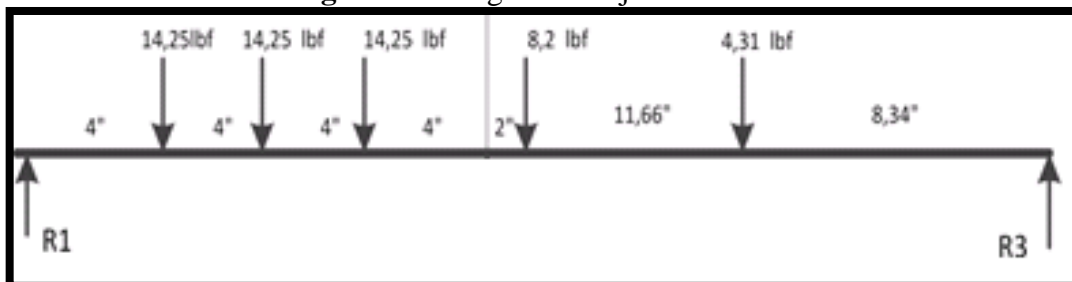
Peso del eje transmisor = 8,23 lbf

Rodo = 5,38 lbf x tres

Molde = 26.61 lbf, actúan sobre los tres rodos.

Aplicando las cargas en el eje tenemos:

Figura 16. Cargas en el eje transmisor.



Fuente: Autores.

Ahora bien, se determinará el momento máximo en el eje transmisor.

Sumatoria de fuerzas verticales.

$$\Sigma f_y = 0 \quad (43)$$

$$R1 + R3 - 14,25 - 14,25 - 14,25 - 8,2 - 4,31 = 0$$

$$R1 + R3 = 55,26 \text{ lbf}$$

Aplicando en la reacción R3, suma de momentos, encontramos el valor de las reacciones.

$$\Sigma M_o = 0 \quad (44)$$

$$M_{oR3} = 0 = R1(36) - 14,25(32) - 14,25(28) - 14,25(24) - 8,2(18) - 4,31(8,34)$$

$$R1 = 38,34 \text{ lbf}$$

Remplazando tenemos que $R3 = 16,92 \text{ lbf}$.

El Momento flector en el eje conducido está determinado por:

$$M_o = Fd \quad (45)$$

$$M_{t4} = 38,34(4) = 153,36 \text{ lb.pulg}$$

$$M_{t8} = 38,34(8) - 14,25 \times 4 = 249,72 \text{ lb.pulg}$$

$$M_{t12} = 38,34(12) - 14,25(8) - 14,25(4) = 289 \text{ lb.pulg}$$

$$M_{t18} = 38,34(18) - 14,25(12) - 14,25(8) - 14,25(4) = 348,12 \text{ lb.pulg}$$

$$M_{t29} = -16,92(8,34) = 141,11 \text{ lb.pulg}$$

Se considera el momento máximo [27] para el calculo del diametro del eje de transmisi3n, de $M= 348,12 \text{ lb.pulg}$. Para determinar el diámetro del eje consideramos la siguiente ecuaci3n:

$$D = \left\{ \frac{32N}{\pi} \sqrt{\left[\frac{KtM}{Sn'} \right]^2 + \frac{3}{4} \left[\frac{T}{Sy} \right]^2} \right\}^{\frac{1}{3}} \quad (46)$$

Dónde:

N = factor de diseño.

Kt = factor de concentración de flexión.

M = momento de flexión.

T = torque del eje.

Sy = resistencia al punto cedente.

Sn' = resistencia por tracción.

Ahora bien, conocido el material del eje AISI 1020 se determina sus propiedades a partir del anexo A, Sy = 51000 Psi. Su = 61000 Psi. Por lo tanto, utilizando la siguiente tabla podemos estimar Sn = 16000 Psi. Para el valor de Sn' se calcula multiplicando por el factor de confiabilidad de acuerdo a la figura siguiente:

Tabla 15. Factores de confiabilidad.

confiabilidad que se desea	Factor de confiabilidad Cr
0,5	1
0,9	0,9
0,99	0,81
0,999	0,75

Fuente: Robert L. Mott, Elementos de máquinas, 2Ed.

Se considera un factor Cr = 0,75 dándonos un Sn' = 16000(0,999) (0,75) = 11988 Psi.

Bajo condiciones típicas industriales se sugiere un factor de diseño N = 3, No se espera que el molde presente un choque o impacto.

Utilizando el anexo B podemos determinar el factor Kt = 1 ya que el eje posee el mismo diámetro en toda su longitud.

Ahora, a partir de la siguiente ecuación, podemos calcular el torque que presenta la flecha o eje de transmisión [28].

$$T = 63000 \frac{P}{n} \quad (47)$$

Dónde:

T = torque en libras por pulgada.

P = potencia en Hp.

n = velocidad de giro en RPM.

$$T = 63000 \frac{1hp}{1300 rpm}$$

$$T = 48,46 lb. pulg.$$

Por lo tanto, para encontrar el valor del diámetro del eje transmisor de la (Ec 46) tenemos:

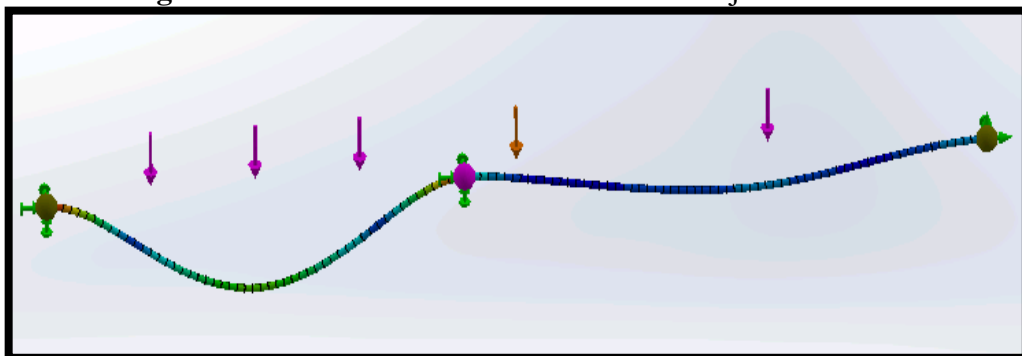
$$D = \left\{ \frac{32(3)}{\pi} \sqrt{\left[\frac{1(348,12)}{11988} \right]^2 + \frac{3}{4} \left[\frac{48,46}{51000} \right]^2} \right\}^{\frac{1}{3}}$$

$$D = \{ 0,8875 \}^{\frac{1}{3}}$$

$$D = 0,96 pulg.$$

Con el resultado obtenido, se ha seleccionado el eje transmisor con un diámetro de 1", para evitar excesivas vibraciones, además se instalará un tercer apoyo como se muestra en la figura siguiente.

Figura 17. Simulación de la deformación del eje transmisor.



Fuente: Autores

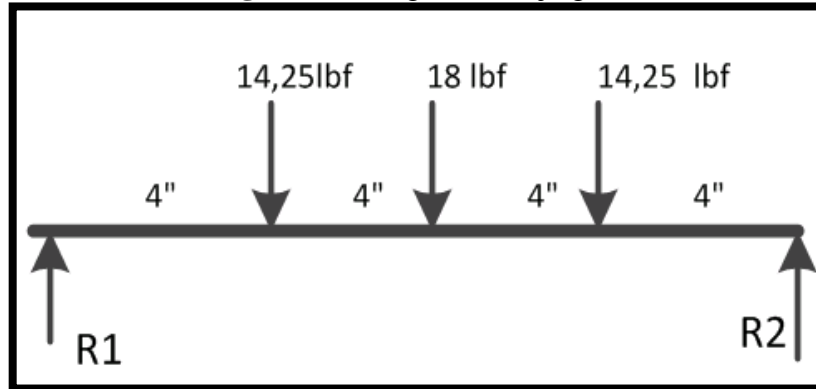
Asi mismo, para el eje conducido se tiene las siguientes cargas.

Peso del eje conducido = 3,81 lbf.

Rodo = 5,38 lbf x tres.

Molde = 26.61 lbf.

Figura 18. Cargas en el eje guía



Fuente: Autores.

Sumatoria de fuerzas verticales de la (Ec 43) tenemos:

$$\Sigma fy = 0$$

$$R1 + R2 - 14,25 - 18 - 14,25 = 0$$

$$R1 + R2 = 46,55 \text{ lbf}$$

Por simple apoyo en las fuerzas $R1 = R2$, donde $R1 = 23,275 \text{ lbf}$.

El momento flector en el eje conducido está determinado por (Ec 45):

$$Mo = Fd$$

$$M_4 = 23,275 \times 4 = 93,1 \text{ lb.pulg}$$

$$M_8 = 23,275 \times 8 - 14,25 \times 4 = 129,2 \text{ lb.pulg}$$

$$M_{12} = 23,275 \times 12 - 14,25 \times 4 - 18 \times 4 = 150,3 \text{ lb.pulg}$$

Momento máximo es 150,3 lb. Pulg.

Por lo tanto, para el cálculo del diámetro del eje se considera la ecuación (Ec 46):

$$D = \left\{ \frac{32N}{\pi} \sqrt{\left[\frac{KtM}{Sn} \right]^2 + \frac{3}{4} \left[\frac{T}{Sy} \right]^2} \right\}^{\frac{1}{3}}$$

Sy = 51000 Psi, Su = 61000, Sn = 16000 Psi. Para el valor de Sn' se calcula multiplicando por el factor de confiabilidad Cr = 0,75 dándonos un Sn' = 16000(0,999) (0,75) = 11988 Psi. El factor N = 3, el factor Kt = 1.

Ahora, de la (Ec 47), podemos calcular el torque que presenta la flecha o eje conducido.

$$T = 63000 \frac{P}{n}$$

$$T = 63000 \frac{1hp}{1300 rpm}$$

$$T = 48,46 lb. pulg.$$

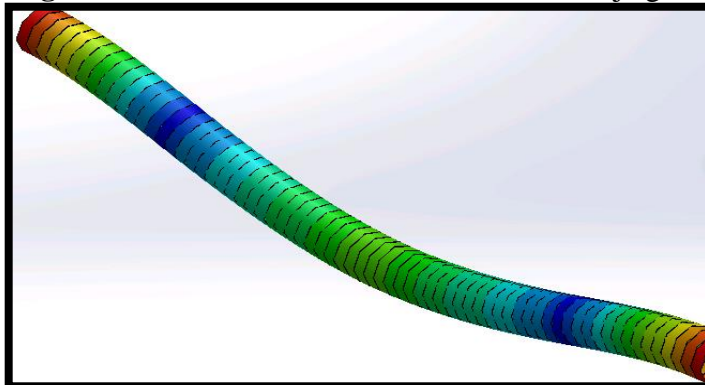
Reemplazando en la (Ec 46) tendremos:

$$D = \left\{ \frac{32(3)}{\pi} \sqrt{\left[\frac{1(150,3)}{11988} \right]^2 + \frac{3}{4} \left[\frac{48,46}{51000} \right]^2} \right\}^{\frac{1}{3}}$$

$$D = \{ 0,3837 \}^{\frac{1}{3}}$$

$$D = 0,72 pulg.$$

Figura 19. Simulación de la deformación del eje guía.



Fuente: Autores.

Con el resultado obtenido se ha seleccionado para el eje guía un diámetro de 1". En la (figura 19), se puede visualizar el comportamiento del eje bajo carga.

Selección de chavetas. Las chavetas para una aplicación específica casi siempre se diseñan después que se ha especificado el diámetro del eje, luego con el tamaño del eje como parámetro, se selecciona el tamaño de la chaveta. Las únicas variables que restan son la longitud y el material con el que se fabrica la chaveta, una de estas puede especificarse y así pueden calcularse las especificaciones para la otra.

Materiales para la chaveta. Las chavetas se fabrican casi siempre de acero extruido en frío al bajo carbón. A continuación se muestra una tabla donde se indica las propiedades los materiales que pueden ser utilizados.

Tabla 16. Materiales para fabricación de chavetas.

MATERIALES PARA LA FABRICACIÓN							
Designación del material	Condición	Resistencia a la Tracción		Resistencia al punto cedente		Ductilidad (Elongación porcentual en 2 pulg)	Dureza Brinell (HB)
		Ksi	MPa	Ksi	MPa		
1020	Rolado en caliente	55	379	30	207	25	111
1020	Extruido en frío	61	420	51	352	15	122
1020	Recocido	60	414	43	296	38	121

Fuente: Diseño de elementos de máquinas - Robert L. Mott Apéndice A3

Tabla 17. Tamaño de la chaveta en base al tamaño de la flecha o eje.

TAMAÑO DE LA CHAVETA EN BASE AL TAMAÑO DE LA FLECHA				
Diámetro nominal de la flecha		Tamaño nominal de la chaveta		
Más de	Hasta	Espesor, W	Altura, H (cuadrada)	Altura, H (Rectangular)
5/16	7/16	3/32	3/32	
7/16	9/16	1/8	1/8	3/32
9/16	7/8	3/16	3/16	1/8
7/8	1 1/4	1/4	1/4	3/16

Fuente: Diseño de elementos de máquinas - Robert L. Mott - 2Ed.

Es recomendable utilizar una chaveta cuadrada si el diámetro del eje es de 6.5 o menor, si el diámetro supera los 6.5 es recomendable utilizar una chaveta rectangular.

Análisis de tensión para determinar la longitud de la chaveta.

- Resistencia a la cedencia de los rodos: 310 Mpa.
- Resistencia a la cedencia del eje: 352 Mpa.
- Resistencia a la cedencia de la chaveta: 352 Mpa.

Al observar los valores de resistencia a la cedencia tanto del eje, de los rodos así como de las chavetas observamos que la resistencia a la cedencia de la chaveta es igual a la del eje pero superior a la de los rodos por lo que hacemos uso de la siguiente ecuación.

$$L = \frac{4T}{td DH} \quad (48)$$

Dónde:

T: torque.

td: tensión de diseño por compresión.

D: diámetro del eje.

H: altura de la chaveta.

Además que:

$$td = Sy / N \quad (49)$$

Dónde:

Sy: resistencia a la cedencia de la chaveta.

N: factor de diseño N=3

$$td = 51\,000 \text{ psi} / 3$$

$$td = 17\,000 \text{ psi}$$

Remplazando en la (Ec 48), tenemos:

$$L = \frac{4(48.46 \text{ lb. pulg})}{17\,000 \text{ psi} \cdot 1 \left(\frac{1}{4}\right)}$$

$$L = 0.04 \text{ pulg}$$

Es decir con este resultado podemos concluir que la chaveta seleccionada de 1.5 pulg de longitud no fallará, ya que esta resistirá a partir de una longitud de 0.04 pulg.

3.3.2.4 Rodos de soporte. Los rodos se diseñaron tomando en cuenta las consideraciones siguientes:

- El material debe ser resistente a la deformación.
- Suficiente área de contacto que permita generar una rotación en el molde.
- Un adecuado módulo de elasticidad para una mejor rigidez al soporte del molde.
- Posee una manzana que permite la sujeción al eje mediante un prisionero.

Por tanto los resultados se pueden resumir de la manera siguiente:

Tabla 18. Propiedades acero AISI 1018.

Material	Acero AISI 1018
Esfuerzo de fluencia	295 Mpa
Resistencia a la ruptura	395 Mpa
Módulo de elasticidad	207 GPa

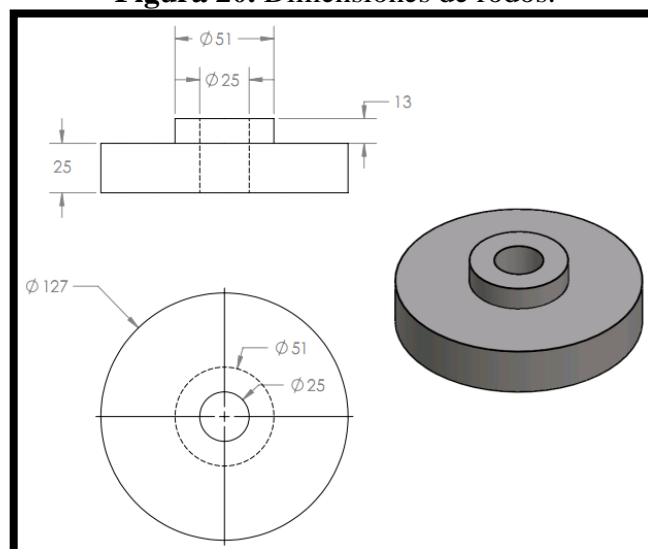
Fuente: Resistencia de materiales, Robert L. Mott - 3Ed

Dimensiones del rodo.

$$de = 127 \text{ mm}$$

$$di = 25 \text{ mm}$$

Figura 20. Dimensiones de rodos.

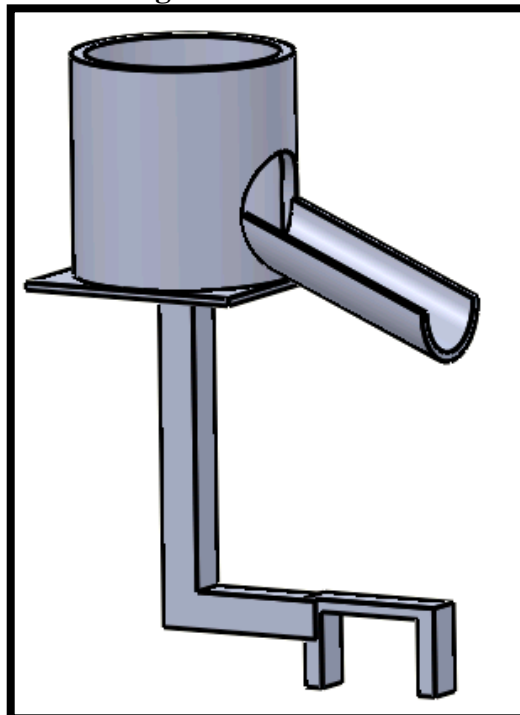


Fuente: Autores.

3.3.3 *El vertedero.* Para el diseño del vertedero se consideró lo siguiente:

- Material con elevado punto de fusión AISI 1018.
- De forma cilíndrica que permita contener el aluminio fundido. Además debe contar con un recubrimiento interno de cemento refractario para disminuir la tasa de transferencia de calor al medio y poder aprovechar así la energía térmica que ayuda a la fluidez del aluminio fundido.
- Debe poseer un canal semicircular dispuesto con una inclinación de 20° . que permita la conducción del metal fundido del recipiente al molde.
- Será desmontable, para permitir la extracción de la pieza fundida luego de que finalice el proceso.

Figura 21. Vertedero.



Fuente: Autores.

3.3.4 *Estructura de soporte.* Se diseñó de tal forma que soporte las cargas de todos los elementos constitutivos del prototipo, el material utilizado para la construcción de la estructura es de tubo cuadrado de 40 mm, y un espesor de 2 mm.

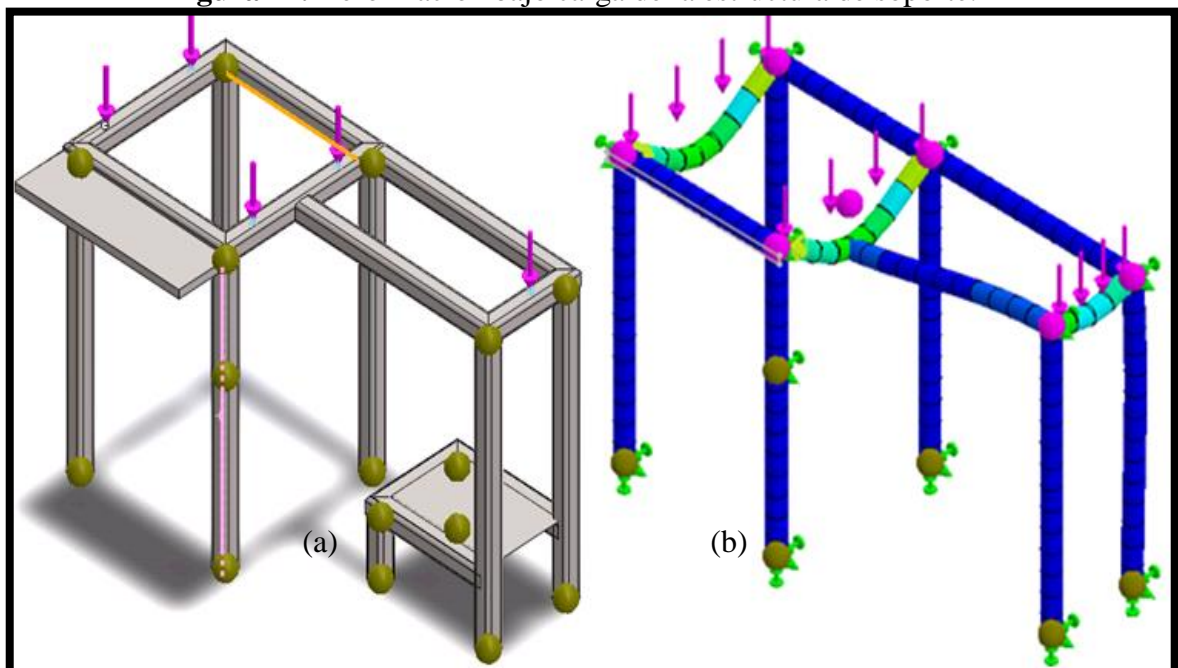
En la (figura 22) se puede observar la deformación que va a sufrir la estructura, considerando las cargas siguientes.

Tabla 19. Cargas soportadas por la estructura.

CARGA A SOPORTAR	CANTIDAD	PESO (kg)
Molde	1	26,87
Rodo	6	15,54
Eje transmisor	1	3,68
Eje Conducido	1	1,68
Chumacera de piso	5	2,25
Pieza a fundir	1	1,42
Motor	1	12
Variador de frecuencia	1	1,2
TOTAL		49,64

Fuente: Autores.

Figura 22. Deformación bajo carga de la estructura de soporte.



Fuente: Autores.

En la figura (a) se indica los puntos donde van a actuar las cargas. En la figura (b) se muestra el comportamiento de la estructura mediante código de colores, el color azul muestra que no hay deformación mientras que el color rojo indica los puntos donde la estructura puede llegar a fallar.

En conclusión, utilizando Solid Works 2012, se ha verificado que la estructura soportará satisfactoriamente a todas las cargas que va a estar sometida, ya que según el código de colores, las cargas no superan la resistencia a la ruptura que es de 395 MPa del material de la estructura.

Esfuerzo térmico

Tabla 20. Coeficiente de expansión térmica.

COEFICIENTE DE EXPANSIÓN TÉRMICA		
MATERIAL	A	
	°F ⁻¹	°C ⁻¹
Acero AISI 1020	$6.5 * 10^{-6}$	$11.7 * 10^{-6}$
Acero AISI 1040	$6.3 * 10^{-6}$	$11.3 * 10^{-6}$
Acero AISI 4140	$6.2 * 10^{-6}$	$11.2 * 10^{-6}$
Acero Estructural	$6.5 * 10^{-6}$	$11.7 * 10^{-6}$
Hierro fundido Gris	$6.0 * 10^{-6}$	$10.8 * 10^{-6}$

Fuente: Resistencia de materiales aplicada - Robert L. Mott - 3Ed.

$$ET = E\alpha(\Delta T) \quad (50)$$

Dónde:

ET: esfuerzo térmico.

α : coeficiente de expansión térmica.

E : coeficiente de elasticidad.

$$ET = (30 * 10^6 \text{ psi})(11.7 * 10^{-6} \text{ °C}^{-1})(100 \text{ °C})$$

$$ET = 35100 \text{ psi}$$

Por lo que podemos decir que la estructura en cuanto al esfuerzo térmico es segura ya que aun viéndose sometida a una temperatura de 100 °C no se verá afectada, ya que la resistencia a la cedencia del acero AISI 1020 oscila entre 43000 y 64000 psi.

CAPÍTULO IV

4. CONSTRUCCIÓN DEL PROTOTIPO DE LA MÁQUINA CENTRÍFUGA

Partes constitutivas del prototipo de la máquina de fundición centrífuga horizontal.

Tabla 21. Partes constitutivas.

ELEMENTOS	TIPO
Estructura de soporte	Acero estructural AISI 1020
Eje de transmisión principal 1"	Acero transmisión AISI 1020
Eje guía 1"	Acero transmisión AISI 1020
Chumaceras de piso 1"	STZ UCP205-16
Motor eléctrico trifásico	WEG 60 HZ 1 HP 1800 rpm
Tapas de molde	Acero 1018 140 x 30 mm
Rodos de soporte	Acero 1018 127 x 40 mm
Molde	Acero 1018 140 x 310 mm
Polea Bushing HF	A 85 mm Optibelt SPA
Polea Bushing HF	A 112 mm Optibelt SPA
Vertedero	Acero 1018
Banda de transmisión	Hanchang Tipo A 42
Variador de frecuencia	Delta VFD-EL 1 HP
Pernos sujeción chumaceras	SAE UNC 3/8 x 3
Pernos sujeción motor	SAE UNC 3/8 x 6
Pernos alíen sujeción molde	SAE UNC 5/16 x 2 ½
Pernos sujeción VFD	SAE UNC M6 x 6
Prisioneros de ajuste de rodos	SAE UNC 5/16 x ½
Arandelas plana	SAE UNC 3/8
Arandelas plana	SAE UNC M6
Arandela de presión	SAE UNC 3/8
Tuercas	SAE UNC 3/8
Tuercas	SAE UNC M6
Cable eléctrico conductor	TSJ #3x18
Botonera	SBPSTA fuerza ON/OFF Trif 15A
Empaque botonera	Caucho
Enchufe	Monofásico 220V

Fuente: Autores.

4.1 Construcción.

Para dar inicio a la construcción del prototipo se hizo un análisis previo de los procesos más importantes que se emplearon para conseguir el objetivo final, estos son: corte, torneado, fresado y soldadura, además de procesos posteriores como el montaje y la instalación.

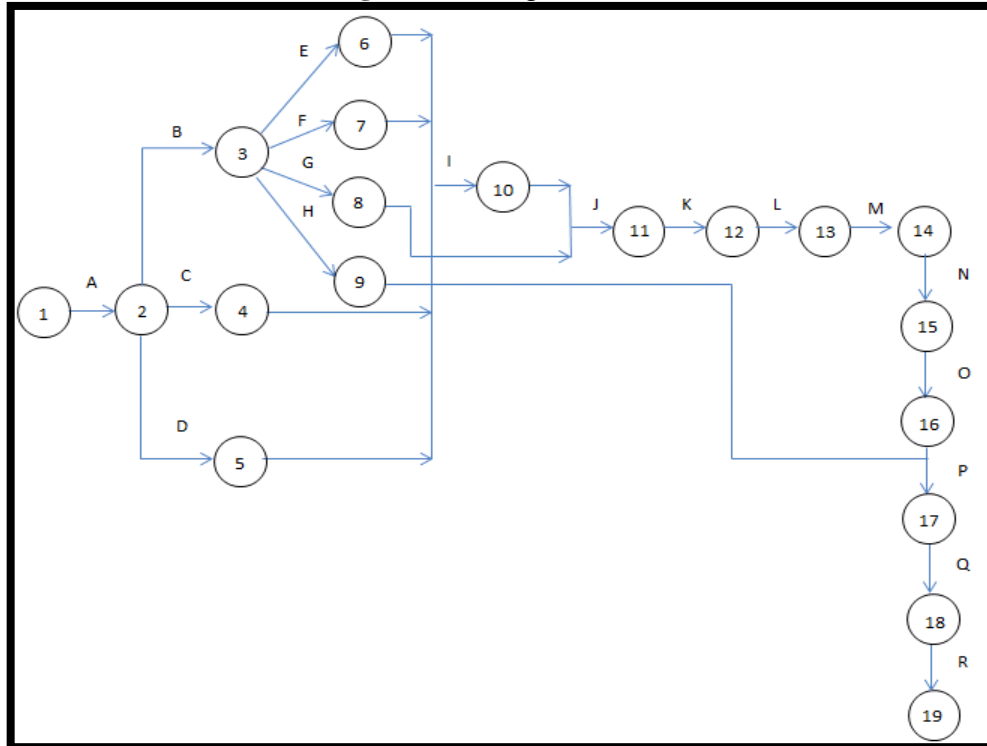
Realizar todos estos procesos involucra conocer el manejo de máquinas herramientas requeridas, es por esta razón la necesidad de dicho análisis, cabe indicar que para el desarrollo de todos estos procesos se tomó muy en cuenta las consideraciones básicas de seguridad e higiene industrial.

Tabla 22. Diagrama de construcción y montaje.

		A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	
Enlistar los materiales y equipos necesarios.																			
Adquirir materiales para fabricación.	B	X																	
Adquirir equipos (motor, variador de frecuencia, chumaceras, poleas, banda)	C	X																	
Adquirir pernos, tuercas, arandelas.	D	X																	
Mecanizar eje principal y de soporte.	E		X																
Mecanizar rodos de soporte.	F		X																
Construir estructura de soporte.	G		X																
Mecanizar molde.	H		X																
Montar rodos, polea, banda y chumaceras a eje principal y de soporte.	I			X	X	X	X												
Ensamblar eje principal y de soporte a la estructura.	J							X		X									
Montar motor a estructura con ejes colocados	K										X								
Colocar polea en el motor	L											X							
Ajustar banda entre polea conductora y conducida.	M												X						
Montar variador de frecuencia a estructura.	N													X					
Realizar instalaciones eléctricas.	O														X				
Colocar molde sobre ejes de soporte.	P								X								X		
Verificación de ensamblado.	Q																	X	
Pruebas de funcionamiento.	R																		X

Fuente: Autores.

Figura 23. Diagrama Pert.



Fuente: Autores.

4.1.1 Corte. Dentro de la construcción del prototipo, el proceso de corte tiene vital importancia en la elaboración de la estructura de soporte, ya que es necesario realizar esta operación con precisión para obtener las medidas requeridas de los diferentes elementos y de esta forma obtener un soporte correcto, el material utilizado para la construcción de la estructura es tubo cuadrado de acero, el corte de este tubo se lo puede realizar con una sierra eléctrica.

Figura 24. Corte.



Fuente: Autores

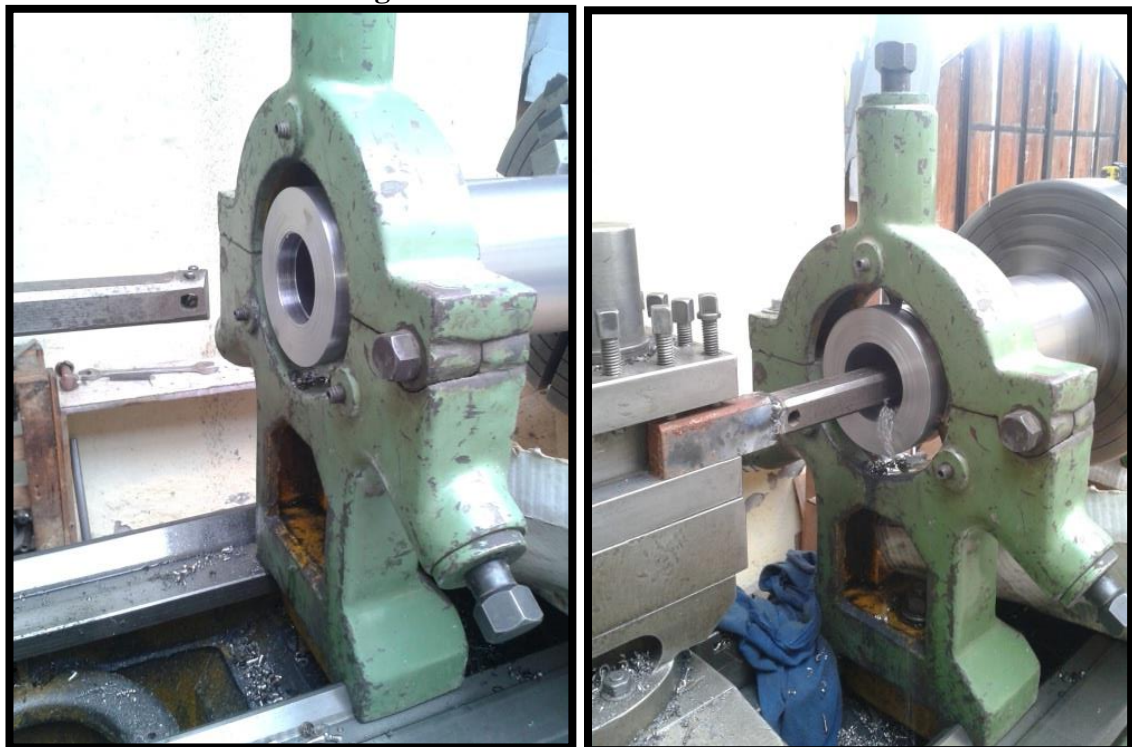
4.1.2 Torneado. El proceso de torneado se utiliza para realizar tareas de cilindrado y refrentado, estos procesos deben realizarse debido a que el material para la elaboración tanto del molde, eje y los rodos que lo van a soportar, tienen medidas superiores a las requeridas.

Todo esto con el fin de obtener las dimensiones exactas en dichos elementos, además es importante tener en cuenta que interiormente el molde necesita un excelente acabado superficial, el proceso de mecanizado del molde se lo puede apreciar en el anexo D.

En el caso de los rodos el proceso de cilindrado es mucho mayor debido a que el material adquirido tiene medidas muy superiores a las requeridas además de darle la forma necesaria para su acoplamiento a los ejes de rotación.

Debido a la longitud del eje y el peso del material para la elaboración del molde, es necesario utilizar un dispositivo suplementario de sujeción denominado luneta, el cual no sirve propiamente para sujetar la pieza, sino únicamente para apoyo de las piezas, con el objetivo de impedir que se fleje bajo la acción de la presión de corte.

Figura 25. Mecanizado del molde.



Fuente: Autores.

4.1.3 Soldadura. El proceso de soldadura empleado en la elaboración de la estructura de soporte fue el de soldadura al arco eléctrico, en el cual se aprovecha una fuente de calor con el fin de unir los metales en los puntos que han de unirse.

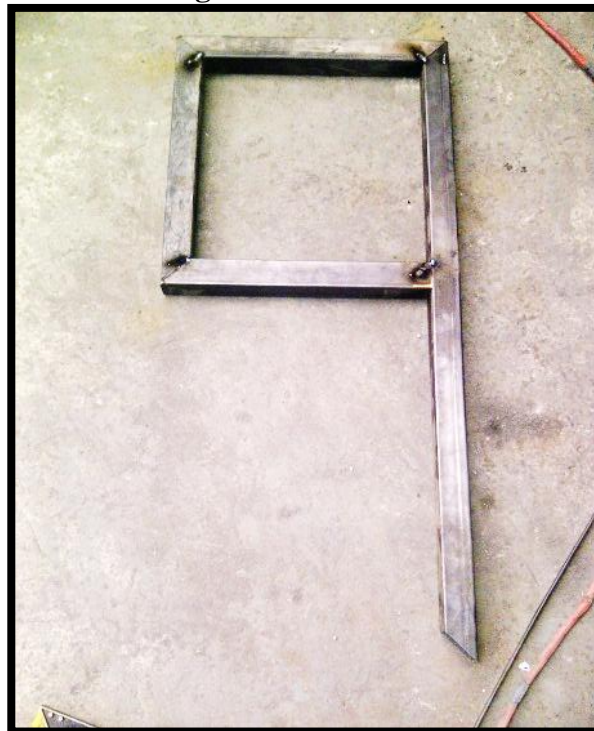
Una vez realizado el corte de las diferentes partes con las dimensiones exactas se realiza el proceso de soldeo para unir las mismas, proceso en el que se utilizó un electrodo revestido 6011.

Hay que tener en cuenta que para conseguir un cordón de soldadura correcto debemos controlar factores como:

- Ángulo de trabajo adecuado.
- Evitar que el material base este contaminado (libre de grasas y polvos).
- Martilleo después de realizado el cordón para evitar tensiones.
- Enfriamiento lento para evitar la formación de estructuras duras.

Hay que tomar en cuenta que se debe tener cuidado, ya que este proceso de soldadura provoca irradiaciones de rayos luminosos, ultra violetas e infrarrojos, los cuales producen trastornos orgánicos.

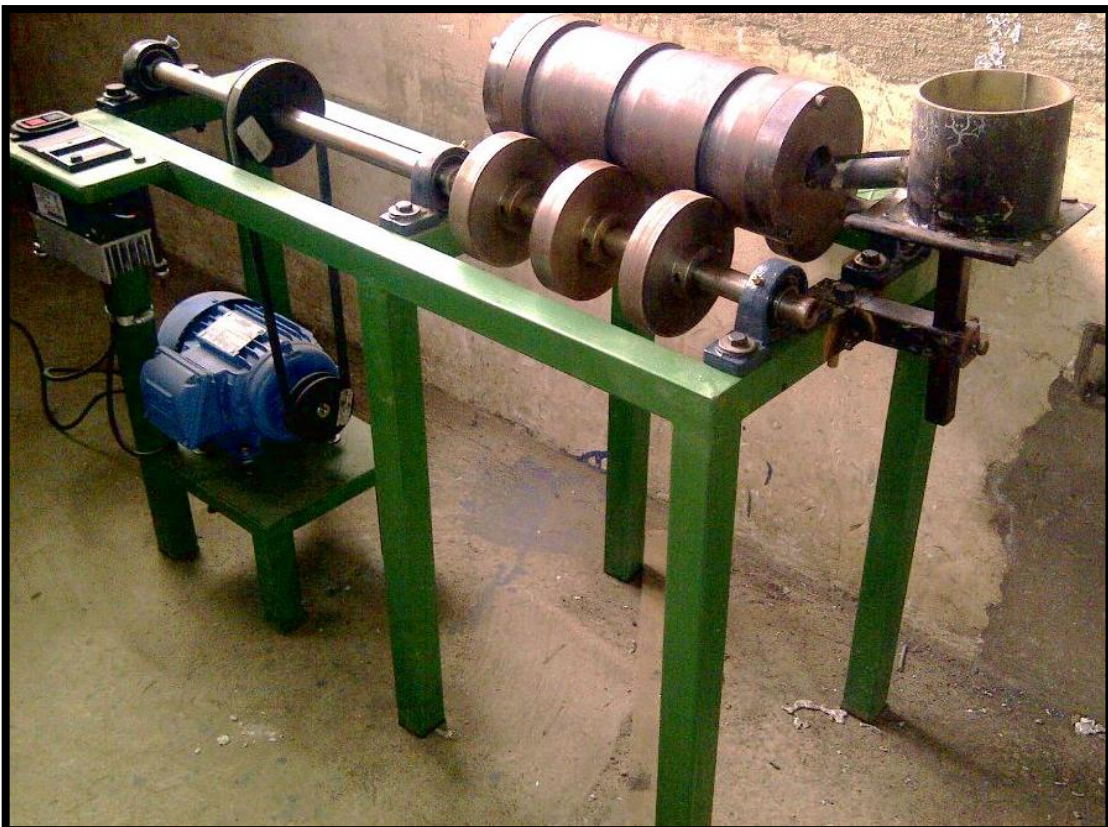
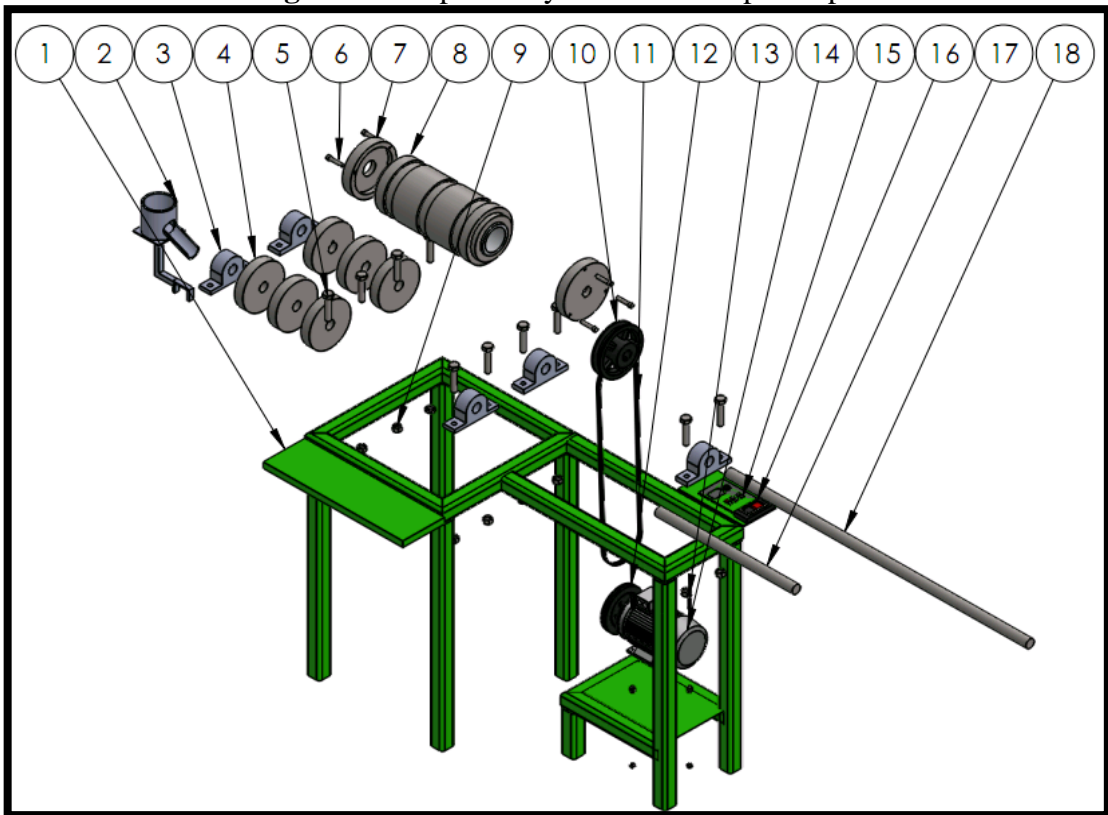
Figura 26. Soldadura



Fuente: Autores.

4.2 Montaje de las diferentes partes del prototipo.

Figura 27. Explotado y ensamble del prototipo



Fuente: Autores.

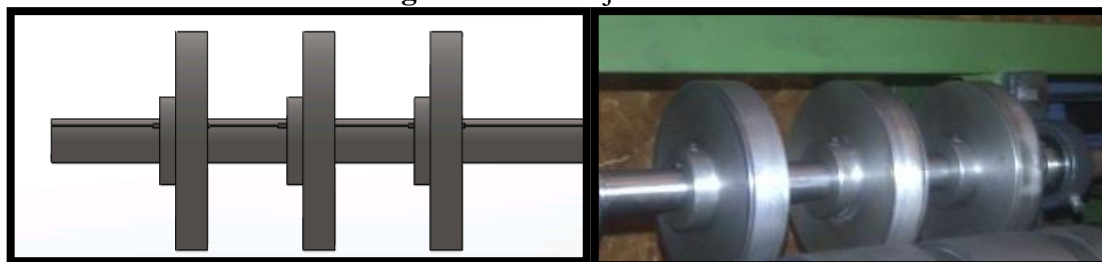
Tabla 23. Partes que conforman el prototipo.

N.º DE ELEMENTO	N.º DE PIEZA	CANTIDAD
1	Estructura	1
2	Vertedero	1
3	Chumacera de piso 1" STZ UCP205-16	5
4	Rodo de soporte	6
5	Perno sujeción chumacera SAE 3/8 x 3"	10
6	Perno alien SAE 3/8 x 2,5"	6
8	Molde	1
9	Tuerca SAE 3/8	26
10	Polea conducida 112 mm	1
11	Banda tipo A 42	1
12	Polea conductora 85 mm	1
13	Perno guía motor SAE 3/8 x 6"	4
14	Motor trifásico WEG 1 Hp 1800 rpm	1
15	Variador de frecuencia Delta VDL-EL	1
16	Botonera On/off	1
17	Eje guía 1" x 42 cm	1
18	Eje transmisor 1" x 92 cm	1

Fuente: Autores.

4.2.1 Colocación de rodos de soporte en los ejes de transmisión. Los rodos de soporte se mecanizaron de tal forma que ingresen al eje con un cierto ajuste, para ser colocados en su lugar debemos considerar que deben ser acoplados con una chaveta, además es indispensable ajustar correctamente los prisioneros, esto ayudará a mantener a los rodos fijos y generar una transmisión de movimiento efectiva.

Figura 28. Montaje de rodos.



Fuente: Autores.

4.2.2 Colocación de chumaceras. Antes de colocar las chumaceras, se debe verificar el lugar exacto donde van a ir montadas, para garantizar que la posición de los ejes sean completamente paralelas y evitar excesiva fricción entre estos dos elementos, con esto garantizamos que la transmisión del movimiento es la correcta.

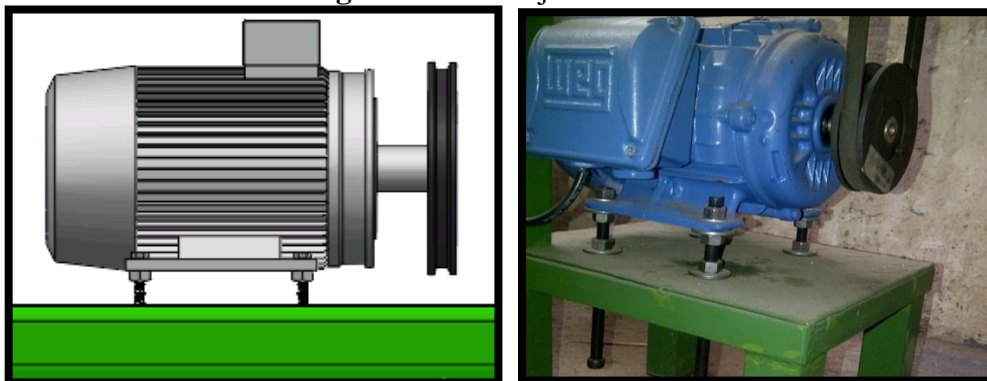
Figura 29. Ensamble de chumaceras.



Fuente: Autores.

4.2.3 Montaje del motor. Debido a que el motor es un elemento del sistema de transmisión, éste fue ubicado con un sistema de regulación, de tal forma que se puede variar su distancia con el eje transmisor, esto ayuda a que podamos realizar el tensado de la banda sin ningún inconveniente y de una manera fácil, además este sistema nos ayuda a inmovilizar el motor de tal forma que evitemos posibles vibraciones.

Figura 30. Montaje del motor

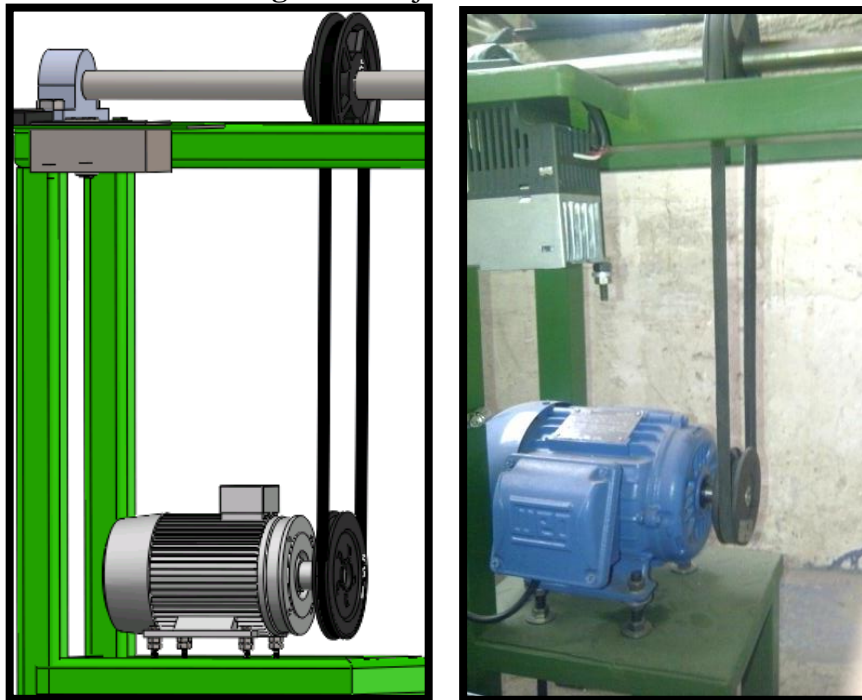


Fuente: Autores.

4.2.4 *Alineamiento e instalación de la banda.* El procedimiento recomendado para alinear e instalar la banda de transmisión es el siguiente [29].

- Asegurarse que las poleas estén limpias, libre de aceite y pintura, libres de bordes agudos o rebabas.
- Verificar con un indicador de nivel que los ejes de las poleas conductora y conducida se encuentren alineados.
- Aflojar los pernos de la base del motor ya que estos se ajustaran según el nivel de tensión requerido en la banda.
- Colocar los ejes paralelos, comprobarlos con un cordel o piola tensada entre los ejes y además utilizando una escuadra metálica.
- Comprobar el alineamiento de las poleas usando un cordel a lo largo de los bordes.
- Al colocar la correa evitar forzarla sobre las poleas, pues se podría debilitar y luego esta podría ser la causa original para que se rompa cuando este en servicio.

Figura 31. Ajuste de la banda.



Fuente: Autores.

4.2.5 *Tensión en la correa.* La tensión total requerida para una transmisión utilizando una correa trapecoidal, es independiente de la marca o tipo de correa.

La tensión de la banda se estableció en base a las siguientes condiciones:

- La mejor tensión para una adecuada transmisión, es la tensión mínima a la cual no se deslizará o patinará la correa bajo condiciones de cargas altas.
- Una tensión excesiva acortará la vida útil de la correa y de las chumaceras que soportan a la polea conducida.
- La tensión de la correa de transmisión se puede determinar aplicando una fuerza perpendicular en la mitad de la longitud libre de la correa ya montada en las poleas, generando así una flecha de flexión en la misma. La flecha deberá ser del 3 al 5% de la longitud libre de la correa.
- Después de tensar la correa, es recomendable activar el sistema de transmisión durante 15 minutos para que las correas puedan asentarse y posteriormente imponer la carga a la que va a estar sometida en el trabajo, si se observa que esta se resbala habrá que volver a tensarla.
- Hay que tener en cuenta que una tensión insuficiente en la correa puede ocasionar que esta patine y se desgaste prematuramente.

4.2.6 *Conexiones eléctricas.* Para realizar la conexión entre el variador de frecuencia y el motor se cumplió con el siguiente procedimiento.

4.2.6.1 *En el motor*

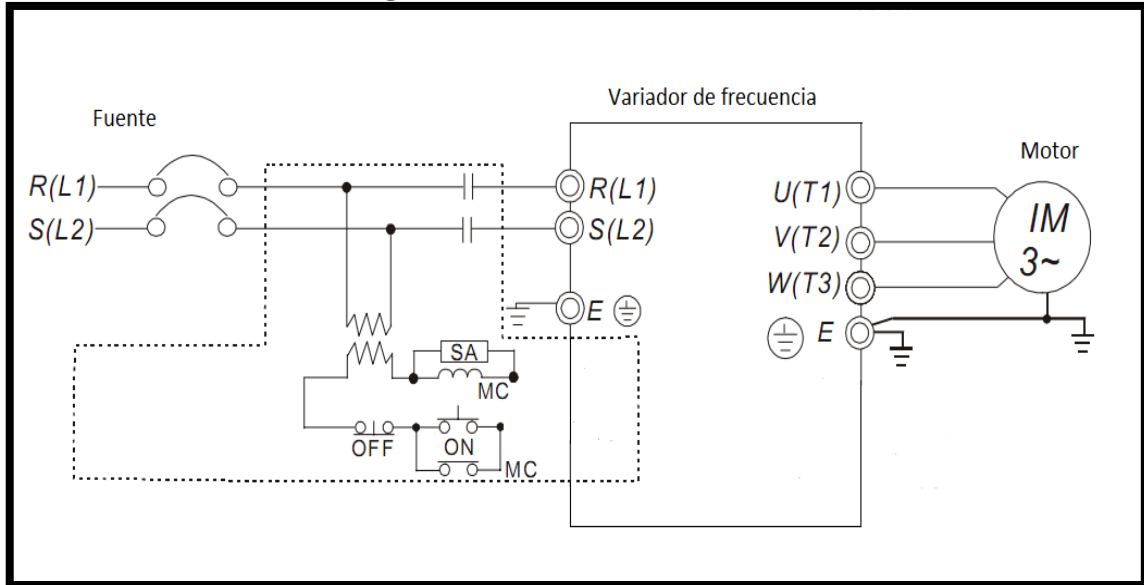
- Identificación de los polos del motor.
- Configurar el ingreso de energía al motor a 220 Voltios usando el diagrama correspondiente ubicado en la placa de características.

4.2.6.2 *En el variador de frecuencia*

- Ubicar las terminales R y S que van conectadas a la fuente.
- Ubicar las terminales T1, T2 y T3 que van conectadas a las terminales U, V y W del motor respectivamente.

Una vez realizado el procedimiento anterior, las conexiones entre el variador de frecuencia y el motor, se configuraron según el siguiente diagrama:

Figura 32. Conexiones eléctricas.



Fuente: Manual del variador de frecuencia.

4.3 Máquinas y herramientas utilizadas

En la (tabla 24) de resumen se muestra una lista de las máquinas y herramientas utilizadas según la parte constitutiva que se elaboró.

4.3.1 Manipulación de máquinas herramientas. El mal uso de máquinas y herramientas puede generar un desgaste muy superior al normal, ocasionando un deterioro rápido lo que hace peligroso su uso, debido a que pueden fallar en cualquier momento, es por ello que se debe garantizar un uso correcto y así evitar accidentes o lesiones humanas.

Es muy importante tener en consideración el lugar de cada herramienta y colocarla allí después de su uso. La acumulación de herramientas en el puesto de trabajo o en sitios destinados a la circulación de personal, son factores importantes dentro de la generación de riesgos y accidentes.

4.4 Seguridad e higiene para la construcción e implementación.

Una vez planificado y conocido las operaciones y procesos a realizar es de importante consideración tener en cuenta factores como los de seguridad e higiene dentro del taller en el que se dará lugar la construcción del prototipo de fundición centrífuga, estos

factores son muy importantes ya que nos ayudarán a crear un ambiente sano y seguro para el desarrollo del trabajo.

Cualquier tarea que se proponga realizar, nunca deberá iniciar si no se ha verificado que las condiciones de seguridad e higiene sean las adecuadas, ante todo se encuentra la vida del personal que desarrolla el trabajo.

Tabla 24. Máquinas y herramientas para la construcción del prototipo.

MÁQUINAS Y HERRAMIENTAS UTILIZADAS EN LA CONSTRUCCIÓN DEL PROTOTIPO					
Parte elaborada	Proceso	Máquina		Herramienta	
Estructura de soporte	Medición			Flexómetro	1
	Corte	Sierra eléctrica	1		
	Limado			Lima	1
	Soldadura	Soldadora	1		
	Limpieza			Cepillo metálico	1
	Pintura	Compresor	1	Pistola	1
Molde, tapas, rodos	Medición			Calibrador	1
	Corte (Cilindrado)	Torno	1	Cuchillas HSS	2
	Corte (Refrendado)			Cuchillas HSS	2
	Taladrado	Taladro	1	Broca Titanium HSS	1
	Roscado			Machos	1
Ejes	Medición			Calibrador	1
	Corte	Fresadora	1	Fresa	2
Ensamble	Ajuste			Llaves	3
	Nivelación			Comprobador de nivel	1
	Total:	Máquinas	6	Herramientas	18

Fuente: Autores.

4.4.1 Seguridad en el taller. No es fácil determinar donde empiezan y terminan las tareas vinculadas con el trabajo que se va a realizar, es por ello que enfocados en crear un ambiente seguro dentro del taller, con la finalidad de evitar un accidente o incidente, debemos hacer un análisis de las posibles causas que los pueden generar.

Un accidente o incidente dentro de un taller industrial, puede ser ocasionado por la combinación de factores humanos y técnicos, como:

Factores humanos:

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

Factores técnicos:

- Organización.

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

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

4.4.2 Higiene en el taller. La higiene dentro del taller es muy importante ya que nos permite reconocer evaluar y controlar situaciones que pueden afectar la salud del operario, la carencia de higiene genera condiciones sub estándar para el desarrollo del trabajo.

El orden y la limpieza son la piedra angular dentro de un taller mecánico, debido a que los suelos y zonas de paso pueden quedar rápidamente obstruidos por materiales y útiles capaces de provocar tropiezos, si no se tiene precaución de ubicar cada uno de los elementos en el lugar correspondiente.

Es necesario establecer un algoritmo para la elaboración del trabajo esto ayudaría a realizar cualquiera que sea el proceso de forma ordenada. La higiene ligada a la seguridad genera un ambiente sano y seguro. Al igual que en el factor seguridad, debemos realizar un análisis previo de varios aspectos, los cuales están ligados a los procesos a realizarse, entre los aspectos importantes a controlar tenemos:

- Falta de orden y limpieza.
- Generación de polvos.
- Emisión de gases contaminantes.
- Falta de equipo de protección.
- Falta de ventilación.

4.5 Seguridad e higiene en los procesos

Antes de iniciar el trabajo es necesario realizar un análisis general de todos los equipos a utilizar para de esta forma crear un sistema hombre-máquina que sea eficaz, de igual forma un análisis y evaluación del entorno.

Determinadas las necesidades y el análisis de operaciones del proceso, se definen las características del equipo en función de los siguientes factores: operario, producción y tiempo. La selección del equipo y el uso adecuado del mismo ayudará a que la tarea que se vaya a desarrollar tenga éxito.

Las operaciones más importantes que se realizan en la construcción del prototipo como son el corte, la mecanización y la soldadura implican que el análisis antes mencionado sea mucho más profundo en estas tres etapas dada su complejidad, es así que antes de realizar estas operaciones debemos verificar tanto los equipos a utilizar, así como el lugar donde se desarrolla el trabajo, entre los principales factores que pueden afectar estos procesos tenemos:

- Máquinas, equipos y herramientas desprotegidas.
- Superficies de trabajo inadecuadas.
- Instalaciones de energía en condiciones sub estándares.
- Falta de herramientas de trabajo y elementos de protección personal.
- Iluminación defectuosa.
- Organización de la tarea.

Una vez verificados y corregidos estos factores se puede dar inicio al trabajo, no obstante el personal a realizar dicho trabajo lo realizará tomando todas las debidas precauciones personales, ya que el haber corregido los factores antes mencionados no quiere decir que los riesgos se hayan eliminado.

4.6 Seguridad e higiene en el taller de fundición

Dentro del taller de fundición existe muchos peligros entre los más importantes tenemos:

- Ambiente caliente.
- Potencial de quemaduras.
- Desprendimiento de gases y vapores.

Al realizar las pruebas de funcionamiento y posterior operación del prototipo de fundición centrífuga en varios puntos del proceso, se pueden producir quemaduras por el aluminio fundido, la escoria, los derrames, las salpicaduras y por explosiones del metal caliente durante su transformación.

Además durante su transporte y colado puede darse un contacto directo con el metal fundido.

El agua retenida por el metal fundido o la escoria puede generar fuerzas explosivas que hagan saltar metal o material caliente en una amplia zona, introducir una herramienta húmeda en el aluminio fundido también puede provocar violentas explosiones.

Es por ello que dentro del taller de fundición, se deben cumplir con todas las recomendaciones de seguridad e higiene enlistadas a continuación.

- Verificar las conexiones eléctricas y evitar su contacto.
- Almacenar los productos combustibles a una distancia prudencial.
- Utilizar equipos de protección personal.
- Verificar que no existan obstáculos en las zonas de circulación.
- Tener a la mano un equipo contra incendios.
- Tener a la mano un equipo de primeros auxilios.

Se debe tomar en cuenta la aplicación de medidas preventivas destinadas a minimizar el riesgo eléctrico por contacto entre las masas y los elementos conductores en los que pueda existir una tensión peligrosa.

4.6.1 Ropa y equipo de trabajo. A continuación se presenta una tabla donde se indica los elementos de protección personal que se deben utilizar según el proceso a realizar, el uso de todos los equipos y su correcto empleo disminuirá el riesgo de accidentes.

Tabla 25. Equipos de protección personal.
EQUIPOS DE PROTECCIÓN PERSONAL

SOLDADURA	MECANIZADO	CORTE	FUNDICIÓN
Guantes de cuero	Guantes anti corte	Guantes anti corte	Guantes de cuero
Mangas de cuero	Overol manga corta	Overol manga larga	Mangas de cuero
Casco protector	Gafas	Gafas	Overol manga larga
Overol manga larga	Zapatos de seguridad	Zapatos de seguridad	Mandil de cuero
Mandil de cuero			Protección facial
Mascarilla para vapores			Mascarilla para vapores
Zapatos de seguridad			Zapatos de seguridad

Fuente: Autores.

CAPÍTULO V

5. COMPROBACIÓN DEL FUNCIONAMIENTO DEL PROTOTIPO DE LA MÁQUINA CENTRÍFUGA

5.1 Pruebas de funcionamiento del prototipo de la máquina centrífuga.

Luego de haber ensamblado las partes constitutivas del prototipo de la máquina centrifugadora horizontal se realizaron siete pruebas de funcionamiento, las que describiremos a continuación:

PRUEBA I

Descripción:

Una vez conectado a la fuente de energía, se procedió a encender el variador de frecuencia y verificar la relación de transmisión entre el motor y el eje transmisor. Cabe recalcar que esta prueba se la realizó sin el montaje del molde.

Resultado de la prueba:

Se comprobó que había un ruido anormal en la polea conducida, producto de un excesivo ajuste de la banda de transmisión, debido a esto se procedió a la regulación adecuada, eliminándose así el ruido existente.

Figura 33. Prueba I.



Fuente: Autores

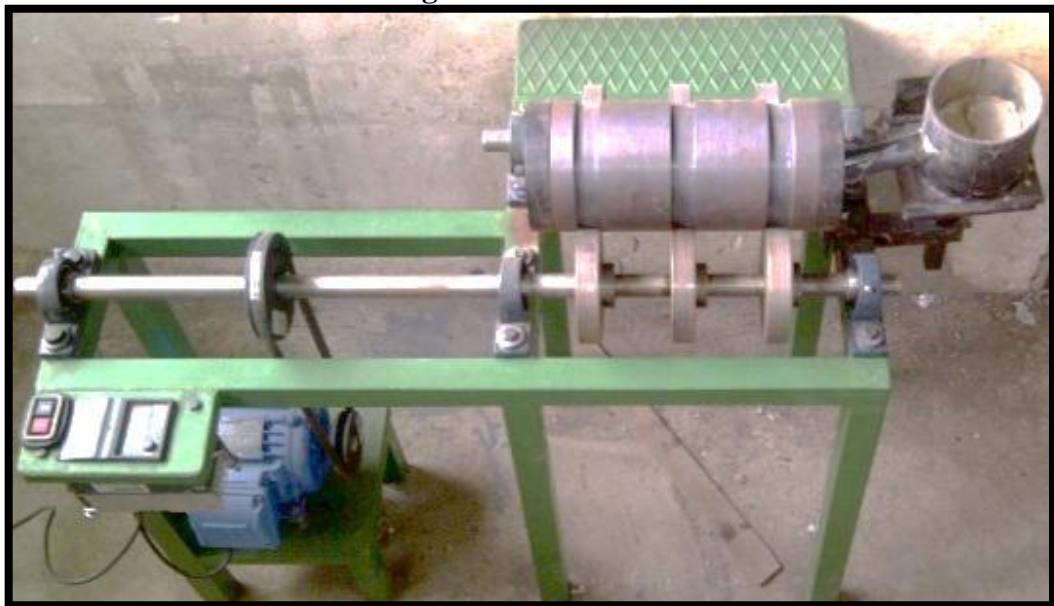
PRUEBA II

Descripción:

Una vez comprobado el sistema de transmisión, se procedió a colocar el molde sobre los rodos de soporte, y verificar la transmisión del movimiento.

Resultado de la prueba:

Figura 34. Prueba II.



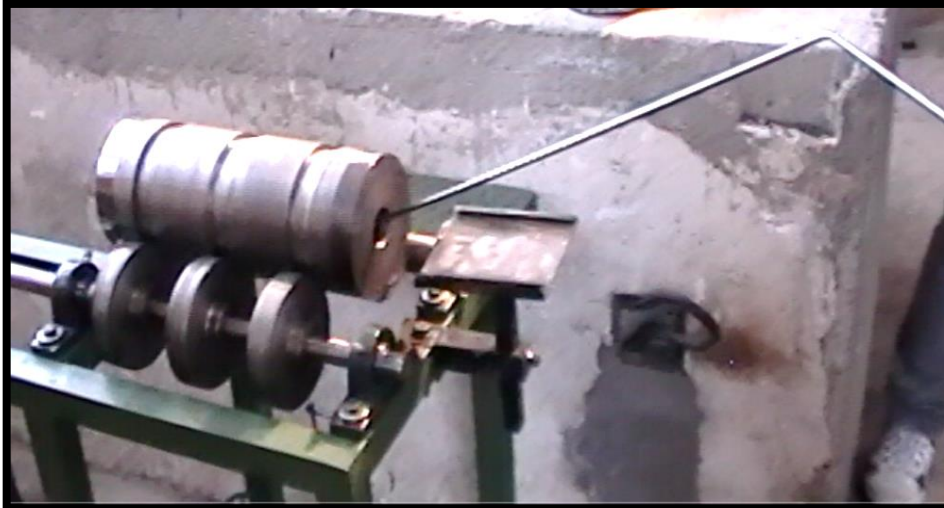
Fuente: Autores

Ya encendida la máquina se pudo ver que la rotación del molde requerida no se generaba, esto debido a la fricción de las paredes de los rodos del eje guía con las ranuras guía del molde, se procedió a desmontar para luego refrentar estos rodos, disminuyendo su medida en dos décimas de milímetro, luego del mecanizado y nuevamente montados, se logró la transmisión de movimiento esperado.

5.2 Pruebas de funcionamiento del prototipo de la máquina centrífuga bajo carga.

Luego de verificar el funcionamiento correcto del sistema de transmisión, se procedió a realizar las siguientes pruebas bajo carga, es decir, la operación y funcionamiento en la fabricación de los cilindros huecos de aluminio sin costura. Cabe mencionar que para fundir el aluminio y medir temperaturas se hizo uso de un horno crisol y un pirómetro de inmersión, existente en Taller de Fundición de la Facultad de Mecánica.

Figura 35. Pirómetro de inmersión y horno crisol.



Fuente: Autores

PRUEBA III

Descripción:

Se procede a precalentar el molde, elevándolo a una temperatura de 150 °C, se extrae del horno crisol la colada de aluminio a una temperatura de 700 °C, en una cuchara recubierta con cemento refractario para luego ser vertida en el molde.

El tiempo de colado fue de 30 segundos, a una velocidad de 857 rpm (42 Hz en el VFD). Una vez terminado el colado se incrementa la velocidad a 1176 rpm (60 Hz en el VFD) permaneciendo así 25 segundos.

Resultado de la prueba:

La pieza obtenida no fue la esperada, debido a que el aluminio líquido no se distribuyó uniformemente a lo largo del molde ya que éste se solidificó gran parte en el vertedero, el mismo que no se encontraba a la temperatura adecuada.

Figura 36. Prueba III.



Fuente: Autores.

PRUEBA IV

Descripción:

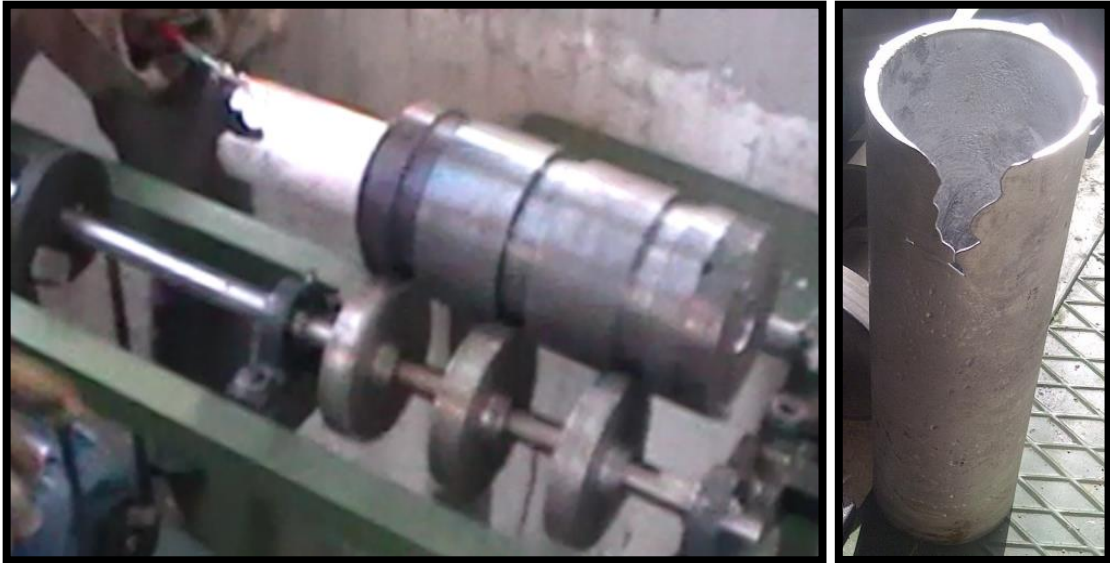
Se calienta el molde a una temperatura de 200 °C, para verter en éste, la colada de aluminio fundido extraída del crisol a una temperatura de 800 °C.

Se procedió al colado empleando un tiempo de 15 segundos, a una velocidad de rotación de 1020 rpm (50 Hz en el VFD), inmediatamente después del colado se procedió a incrementar la velocidad de rotación a 1176 rpm, permaneciendo a esta velocidad un tiempo de 25 segundos.

Resultado de la prueba:

La distribución de la colada de aluminio fue uniforme, sin embargo, se pudo observar que el material se solidificó antes de llegar completamente al extremo de salida, además de visualizar porosidad y material refractario incrustado en la superficie externa, generando así un cilindro poco aceptable.

Figura 37. Prueba IV.



Fuente: Autores.

PRUEBA V

Descripción:

Una vez analizado los problemas anteriores, se procedió a retirar el material refractario de la cuchara, y se elevó la temperatura del molde a 250 °C, la colada de aluminio fundido se mantuvo en 800 °C y se realizó el colado en un tiempo de 10 segundos a una velocidad de rotación de 1020 rpm (50 Hz en el VFD), y un tiempo de enfriado indeterminado.

Resultado de la prueba:

Durante el proceso de colado, el material refractario se desprendió del canal de ingreso y las paredes del vertedero, permitiendo el ingreso de este material al interior del molde, por lo que el canal del vertedero ingresó más de lo establecido lo que causó un

roce con la entrada en la tapa de ingreso, generando una excesiva vibración, además de provocar un derrame de colada de aluminio fundido en la periferia del molde, produciendo salpicaduras.

A pesar de las vibraciones causadas, la pieza obtenida fue de las dimensiones esperadas, sin embargo se observó que en la superficie interna del cilindro, existía el material refractario desprendido del vertedero como se muestra en la figura siguiente.

Figura 38. Prueba V.



Fuente: Autores.

PRUEBA VI

Descripción:

Por los inconvenientes presentados en la prueba anterior, se procedió a retirar el material refractario sobrante de las paredes del vertedero, además se fijó a la estructura la base del vertedero, para evitar el movimiento. El molde se mantiene a una temperatura de 250 °C, la colada de aluminio se extrae del crisol a 800 °C, el vertido se realiza en un tiempo de 10 segundos a una velocidad de rotación de 1020 rpm (50 Hz en el VFD), elevando inmediatamente esta velocidad a 1176 rpm (60 Hz en el VFD)

permaneciendo así 25 segundos, tiempo de solidificación para la extracción del cilindro moldeado.

Resultado de la prueba:

La pieza obtenida se encuentra dentro de los parámetros requeridos, alcanzando un alto porcentaje de aceptabilidad.

Figura 39. Prueba VI.



Fuente: Autores.

PRUEBA VII

Descripción:

Para mejorar la calidad de la superficie externa de la pieza, se juzgó conveniente por las experiencias anteriores, disminuir el tiempo de colado.

Se mantiene la temperatura del molde a 250 °C, la temperatura de la colada de aluminio en 800 °C, el tiempo de vertido fue disminuido a 8 segundos, con una velocidad de rotación de 1020 rpm (50 Hz en el VFD), incrementando inmediatamente esta velocidad a 1176 rpm (60 Hz en el VFD), por 25 segundos al igual que en las pruebas anteriores.

Resultado de la prueba:

El cilindro obtenido muestra un acabado superficial mejorado, libre de porosidades y agrietamientos, alcanzando una calidad muy aceptable.

Figura 40. Prueba VII.



Fuente: Autores.

En el siguiente cuadro se resume los valores de los factores que influyen en la fabricación de los cilindros huecos de aluminio, visualizando que para la fabricación, el procedimiento correcto es el utilizado en la prueba número VII.

Tabla 26. Resumen de parámetros.

	Temperatura molde °C	Temperatura crisol °C	Tiempo de vertido (s)	Tiempo de enfriado (s)	Velocidad de colado rpm	Velocidad de enfriado rpm
PRUEBA III	150	700	30	25	857	1176
PRUEBA IV	200	700	15	25	1020	1176
PRUEBA V	250	800	10	N/D	1020	1176
PRUEBA VI	250	800	10	25	1020	1176
PRUEBA VII	250	800	8	25	1020	1176

Fuente: Autores.

En la figura siguiente, se ilustra una comparación de las diferentes piezas obtenidas en las pruebas realizadas.

Figura 41. Comparación de pruebas.



Fuente: Autores.

CAPÍTULO VI

6. COSTOS

En el siguiente análisis económico se proporciona una descripción general de los costos realizados en la construcción del prototipo de la máquina centrífuga.

6.1 Costos Directos.

Para el análisis de costos directos se considera el costo de materiales, transporte y mano de obra, los mismos que se detallan a continuación.

Tabla 27. Costos directos.

Descripción	Cantidad	Unidad	Valor Unitario	Valor Total
MATERIALES				
Tubo cuadrado 2" acero estructural AISI 1020	6	Metro	5,00	30,00
Eje 1 1/4" Acero transmisión AISI 1020	1	Metro	12,12	12,12
Eje 1 1/4" Acero transmisión AISI 1020	0.5	Metro	9,76	4,88
Chumacera de piso 1" STZ UCP205-16	5	Unidad	6,60	33,00
Motor eléctrico trifásico WEG 60 Hz 1HP 1800	1	Unidad	132,60	132,60
Barra de acero tapas AISI 1018 140 x 30 mm	2	Unidad	15,56	31,12
Barra de acero rodos AISI 1018 127 x 40 mm	6	Unidad	13,10	78,60
Barra de acero molde acero 1018 140 x 310 mm	1	Unidad	129,67	129,67
Polea Bushing HF tipo A 85 mm Optibelt SPA	1	Unidad	21,28	21,28
Polea Bushing HF tipo A 11 mm Optibelt SPA	1	Unidad	22,96	22,96
Vertedero tubo acero y material refractario	1	Unidad	50,00	50,00
Banda de transmisión Hanchang Tipo A 42	1	Unidad	3,00	3,00
Variador de frecuencia Delta VFD-EL 1 HP	1	Unidad	290,00	290,00
Perno sujeción chumaceras SAE 3/8 x 3"	10	Unidad	0,60	6,00
Perno sujeción motor SAE 3/8 x 6"	4	Unidad	110,00	440,00
Pernos alien sujeción molde SAE 5/16 x 2 1/2"	6	Unidad	0,60	3,60
Perno sujeción VFD SAE M6 x 6"	2	Unidad	1,10	2,20
Prisionero SAE 5/16 x 1/2"	6	Unidad	0,40	2,40
Arandela plana SAE 3/8	36	Unidad	0,10	3,60
Arandela plana SAE M6	4	Unidad	0,10	0,40
Arandela de presión SAE 3/8	20	Unidad	0,10	2,00
Tuerca SAE 3/8	26	Unidad	0,10	2,60
Tuerca SAE M6	2	Unidad	0,10	0,20

Cable eléctrico Conductor TSJ #3x18	4	Metro	1,10	4,40
Botonera SBPSTA fuerza ON/OF Trif 15A	1	Unidad	4,81	4,81
Empaque botonera de caucho	1	Unidad	1,00	1,00
Enchufe	1	Unidad	0,75	0,75
Total Materiales				\$ 1.313,19
MANO DE OBRA				
Estructura de soporte	1	Unidad	60,00	60,00
Mecanizado	1	Unidad	600,00	600,00
Ensamble	1	Unidad	120,00	120,00
Total Mano de Obra				\$ 780,00
TRANSPORTE				
Fletes y otros			50,00	50,00
Total Transporte				50,00
TOTAL COSTOS DIRECTOS				\$ 2.143,19

Fuente: Autores.

6.2 Costos Indirectos

Tabla 28. Costos indirectos.

Detalle	Valor
Ingenieriles (Diseño y Supervisión)	\$ 200,00
Imprevistos	\$ 50,00
TOTAL COSTOS INDIRECTOS	\$ 250,00

Fuente: Autores.

6.3 Costos Totales

Tabla 29. Costos totales.

Costos directos	\$ 2.143,19
Costos indirectos	\$ 250,00
TOTAL COSTOS	\$ 2.393,19

Fuente: Autores.

Los costos totales equivalen a la suma de los costos directos más los costos indirectos, el valor obtenido es de \$ **2393,19** dólares para la construcción del prototipo de la máquina centrífuga.

CAPÍTULO VII

7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1 Conclusiones

Una vez culminado nuestro trabajo investigativo, se han establecido las siguientes conclusiones.

Se ha demostrado que utilizando un factor GF de 60, se puede generar la suficiente fuerza centrífuga y así asegurar que la colada de aluminio se pegue en las paredes del molde.

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.

La etapa de diseño es una de las más importantes antes de la construcción del prototipo, la utilización de un software de diseño como Solid Works 2012 ha sido de gran ayuda, ya que podemos visualizar y simular situaciones parecidas a la realidad y de esta forma tener una mejor apreciación del funcionamiento del prototipo que va a ser construido.

Antes de realizar las pruebas operativas, se pudo verificar que el funcionamiento del prototipo de la máquina centrifugadora fue el adecuado.

Se pudo observar en la prueba número IV, que el acabado superficial de la pieza es deficiente, esto debido a que el aluminio se solidificó demasiado rápido, ocasionando así una especie de grietas en diferentes partes de la superficie de la pieza.

La temperatura del aluminio fundido al salir del horno crisol es de 800 °C, para lograr una correcta distribución sobre las paredes internas del molde.

La velocidad de rotación del molde de 1176 rpm recomendada por el nomograma del libro ASM HANDBOOK es la óptima para el centrifugado de aluminio, ya que no se observó en ninguna de las pruebas el denominado efecto lluvia.

Se pudo visualizar además, que para poder realizar el colado del aluminio, el molde y el vertedero deben estar a una temperatura de 250 °C.

El tiempo de colado debe ser tan rápido como sea posible, se puede obtener piezas de un excelente acabado superficial a partir de un tiempo máximo de colado de 8 s.

El acabado de la superficie interna del molde fue el correcto, ya que la pieza colada pudo ser removida con facilidad en todas las pruebas realizadas.

No es necesario utilizar cemento refractario en las paredes del vertedero ni de la cuchara ya que con un precalentamiento adecuado de 250 °C el aluminio fundido fluye con facilidad.

Si se puede obtener cilindros huecos de aluminio sin costura utilizando el proceso de fundición centrífuga horizontal.

El costo total del prototipo de la máquina de fundición centrífuga es de 2393.19 dólares.

7.2 Recomendaciones.

Realizar las diferentes pruebas de funcionamiento una vez concluido la construcción del prototipo, éstas se las debe ejecutar en distintas etapas, comprobando el funcionamiento en cada uno de los elementos para posteriormente someter todo el conjunto a las pruebas operacionales.

Conectar el prototipo de fundición centrífuga horizontal a una fuente de energía de 220 V monofásico, nunca a fuentes inferiores ya que si se lo hace se puede ocasionar daños irreparables en el variador de frecuencia.

Utilizar todos los equipos de protección personal para realizar el proceso de fundición y su posterior colado centrífugo, si no se cumple con esta condición, se pueden generar múltiples accidentes y lesiones debido a las altas temperaturas existentes en estos procesos.

Verificar que las dos tapas se encuentren acopladas 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, acoplar la tapa removible al molde para que se contraigan uniformemente.

Utilizar para la fundición, aluminio con bajos porcentajes de contaminación y de esta forma obtener cilindros huecos sin costura de mejor calidad ya que se disminuirá la porosidad y la concentración de escoria en la superficie interna de la pieza obtenida.

Realizar el precalentamiento del molde cuando éste gire en un rango de 90 y 150 rpm equivalente a 3 y 5 Hz respectivamente en el variador de frecuencia, para garantizar un calentamiento uniforme a lo largo del molde.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] http://es.wikipedia.org/wiki/Metal_no_ferroso
- [2] centros4.pntic.mec.es/ies.ramon.giraldo/tecn_ind/tema7_met_no_ferrosos.pdf
- [3] <http://www.donatividrios.com.ar/elaluminio.htm>
- [4] <http://elementos.org.es/aluminio>
- [5] <http://aluminio.org/?p=821>
- [6] <http://aluminio.org/?p=821>
- [7] <http://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/218/6/T-ESPE-027514-2.pdf>
- [8] <http://sifunpro.tripod.com/termos.htm>
- [9] <http://www.monografias.com/trabajos93/las-maquinas-electricas/las-maquinas-electricas.shtml>
- [10] iespseza.educa.aragon.es/tecnologia/marisa_moreno/mecanica/mecanismos-transmision.pdf
- [11] ASTM International. The Materials Information Company, D. M. STEFANESCU, Volumen 15 of the 9° Edition Metals HANDBOOK, 1992. Pág. 642
- [12] ASTM International. The Materials Information Company, D. M. STEFANESCU, Volumen 15 of the 9° Edition Metals HANDBOOK, 1992. Pág. 648
- [13] Fundamentos de Manufactura Moderna. Mikel P. Groover. Ed 1, 1997. Pág. 279
- [14] Resistencia de Materiales Aplicada, Robert L. Mott. 3° Ed. capitulo 15, pág. 538
- [15] Mecánica de Materiales, James M. Gere, Stephen P. Timoshenko. Pág. 557
- [16] Resistencia de Materiales Aplicada, Robert L. Mott. 3° Ed. Pág. 547
- [17] Resistencia de Materiales Aplicada, Robert L. Mott. 3° Ed. Pág. 547
- [18] iirsacero.com.mx/index.php?option=com_content&task=view&id=25&Itemid=40
- [19] Resistencia de materiales, Robert L. Mott, 3° Ed. Apéndice A13, Pág. 597
- [20] Transferencia de calor, B. V. Karlekar, R. M. Desmond. 2° Ed. Pág 8, 46
- [21] Manual del Aluminio, volumen 1, 2° Edición, Editorial Reverte s.a. Pág. 104

-
- [22] Diseño de Elementos de Máquinas, Robert L. Mott. 2° Ed. Pág. 67
- [23] Teoría de Máquinas y de Mecanismos, Joseph E. Shigley, John J. Uicker Jr. Pág. 454
- [24] Diseño de Elementos de Máquinas, Robert L. Mott. 2° Ed. Pág. 534
- [25] Diseño en Ingeniería Mecánica, Joseph Shigley y Charles Mischke. Pág. 760
- [26] Diseño en Ingeniería Mecánica, Joseph Shigley y Charles Mischke. Pág. 76
- [27] Diseño de Elementos de Máquinas, Robert L. Mott. 2° Ed. Pág. 300.
- [28] Diseño de Elementos de Máquinas, Robert L. Mott. 2° Ed. Pág. 300
- [29] Instalaciones Industriales, Armendáriz Marco. Pág. 77.

BIBLIOGRAFÍA

ARMENDÁRIZ, M. Instalaciones Industriales.

CAPELLO E. Tecnología de la Fundición, Editorial Gustavo Gili, S.A.

COCA, P. Manual del aluminio, 2da edición, Editorial reverté S.A.

GROOVER, M. Fundamentos de manufactura moderna, 1ra edición. Editorial Prentice-Hall.

KARLEKAR, B. DESMOND, R. Transferencia de calor, 2da edición, Editorial Mc Graw Hill.

MOTT, R. Resistencia de materiales aplicada, 3ra edición, Editorial Prentice-Hall.

MOTT, R. Diseño de elementos de máquinas, 2da edición, Editorial Prentice-Hall.

SHIGLEY, J. MISCHKE, C. Diseño en ingeniería mecánica ,5ta edición, Editorial Mc Graw Hill.

SHIGLEY, J. UICKER, J. Teoría de máquinas y de mecanismos, 1ra edición, Editorial Mc Graw Hill.

STEFANESCU, D. Metals HANDBOOK. The Materials Information Company.

STEPANOV, T. Tecnología del proceso de Fundición. Editorial, Moscú: MIR.

TIMOSHENKO, S. GERE, J. Mecánica de materiales. 4ta edición, Editorial Thomson.

LINKOGRAFÍA

EL ALUMINIO

www.fabricalo.net/index.php/como-se-fabrica-el-aluminio-2/

<http://www.lenntech.es/periodica/elementos/al.htm>

2012-09-23

FUNDICIÓN CENTRÍFUGA

http://es.wikipedia.org/wiki/Fundici%C3%B3n_centrifugada

<http://kambry.es/Apuntes%20Web/Procesos%20de%20fundicion.pdf>

http://www.aprendizaje.com.mx/Curso/Proceso1/Temario1_V.html

http://www.comosehace.cl/procesos/JavierRebolledo/fundicion_centrifuga.htm

2012-10-25

CÁLCULO DEL FACTOR G

[http://davinci.upc.es/portal_industrial_2/index.php?option=com_aplicacions&opt=](http://davinci.upc.es/portal_industrial_2/index.php?option=com_aplicacions&opt=&task=aplicacio&Itemid=1&areaid=19&aplicid=82&cas=1)

[&task=aplicacio&Itemid=1&areaid=19&aplicid=82&cas=1](http://davinci.upc.es/portal_industrial_2/index.php?option=com_aplicacions&opt=&task=aplicacio&Itemid=1&areaid=19&aplicid=82&cas=1)

2012-10-30

SISTEMAS DE TRANSMISIÓN

[http://www.foro3d.com/f17/formulas-expresiones-matematicas-similares-](http://www.foro3d.com/f17/formulas-expresiones-matematicas-similares-50611.html)

[50611.html](http://www.foro3d.com/f17/formulas-expresiones-matematicas-similares-50611.html)

2012-11-12

MATERIALES Y EQUIPOS PARA LA CONSTRUCCIÓN

<http://balerosyretenesindustriales.blogspot.com/2010/06/chumaceras.html>

http://www.drillspot.com/products/1403795/Weg_00118ET3E143TW22_NEMA_Premium_Efficient_Motor

<http://www.mecmod.com/fitxa.asp?id=414>

2013-01-08