



# **ESPE**

**UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS**  
**INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA**

## **DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA**

**CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA**

**TRABAJO DE TITULACIÓN, PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO  
DE INGENIERO MECÁNICO**

**TEMA: “DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA INSTALACIÓN  
INTEGRADA PARA COLADA DE SEMIPRODUCTOS EN MOLDES  
METÁLICOS A PARTIR DE LOS EQUIPOS DISPONIBLES EN EL  
LABORATORIO DE CIENCIA DE MATERIALES DE LA UNIVERSIDAD DE  
LAS FUERZAS ARMADAS ESPE”**

**AUTORES:**

**LOGACHO TRIBULES, EDWIN JAVIER**

**VACA VILLAMAR, GENARO GABRIEL**

**DIRECTOR:**

**ING. RIOFRIO VILLENA, PATRICIO GUSTAVO**

**SANGOLQUÍ**

**2018**



## DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGIA Y MECANICA

### CARRERA DE INGENIERIA MECANICA

#### CERTIFICACIÓN

Certifico que el trabajo de titulación, ***“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA INSTALACIÓN INTEGRADA PARA COLADA DE SEMIPRODUCTOS EN MOLDES METÁLICOS A PARTIR DE LOS EQUIPOS DISPONIBLES EN EL LABORATORIO DE CIENCIA DE MATERIALES DE LA UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS ESPE”*** realizado por los señores **GENARO GABRIEL VACA VILLAMAR** y **EDWIN JAVIER LOGACHO TRIBULES**, ha sido revisado en su totalidad y analizado por el software antiplagio, el mismo cumple con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de Fuerzas Armadas “ESPE”, por lo tanto me permito acreditarlo y autorizar a los señores **GENARO GABRIEL VACA VILLAMAR** y **EDWIN JAVIER LOGACHO TRIBULES** para que lo sustenten públicamente.

**Sangolquí, 27 de febrero del 2018**

Atentamente,

**ING. RIOFRIO VILLENA PATRICIO GUSTAVO**

**DIRECTOR**



**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y  
MECÁNICA  
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA**

**AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD**

Yo, **GENARO GABRIEL VACA VILLAMAR**, con cédula de identidad N° 171895995, declaro que este trabajo de titulación ***“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA INSTALACIÓN INTEGRADA PARA COLADA DE SEMIPRODUCTOS EN MOLDES METÁLICOS A PARTIR DE LOS EQUIPOS DISPONIBLES EN EL LABORATORIO DE CIENCIA DE MATERIALES DE LA UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS ESPE”*** ha sido desarrollado considerando los métodos de investigación existentes, así como también se ha respetado los derechos intelectuales de terceros considerándose en las citas bibliográficas.

Consecuentemente declaro que este trabajo es de mi autoría, en virtud de ello me declaro responsable del contenido, veracidad y alcance de la investigación mencionada.

**Sangolquí, 27 de febrero del 2018**

**GENARO GABRIEL VACA VILLAMAR**

C.C. 178959925



**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y  
MECÁNICA  
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA**

**AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD**

Yo, **EDWIN JAVIER LOGACHO TRIBULES**, con cédula de identidad N° 1720232972, declaro que este trabajo de titulación

**“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA INSTALACIÓN INTEGRADA PARA COLADA DE SEMIPRODUCTOS EN MOLDES METÁLICOS A PARTIR DE LOS EQUIPOS DISPONIBLES EN EL LABORATORIO DE CIENCIA DE MATERIALES DE LA UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS ESPE”** ha sido desarrollado considerando los métodos de investigación existentes, así como también se ha respetado los derechos intelectuales de terceros considerándose en las citas bibliográficas.

Consecuentemente declaro que este trabajo es de mi autoría, en virtud de ello me declaro responsable del contenido, veracidad y alcance de la investigación mencionada.

**Sangolquí, 27 de febrero del 2018**

**EDWIN JAVIER LOGACHO TRIBULES**

C.C. 1720232972



**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y  
MECÁNICA  
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA**

**AUTORIZACIÓN**

Yo, **GENARO GABRIEL VACA VILLAMAR**, autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas “ESPE” publicar en la biblioteca Virtual de la institución el presente trabajo de titulación ***“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA INSTALACIÓN INTEGRADA PARA COLADA DE SEMIPRODUCTOS EN MOLDES METÁLICOS A PARTIR DE LOS EQUIPOS DISPONIBLES EN EL LABORATORIO DE CIENCIA DE MATERIALES DE LA UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS ESPE”*** cuyo contenido, ideas y criterios son de mi autoría y responsabilidad.

**Sangolquí, 27 de febrero del 2018**

**GENARO GABRIEL VACA VILLAMAR**

**C.C. 178959925**



**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y  
MECÁNICA  
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA**

**AUTORIZACIÓN**

Yo, **EDWIN JAVIER LOGACHO TRIBULES**, autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas “ESPE” publicar en la biblioteca Virtual de la institución el presente trabajo de titulación ***“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA INSTALACIÓN INTEGRADA PARA COLADA DE SEMIPRODUCTOS EN MOLDES METÁLICOS A PARTIR DE LOS EQUIPOS DISPONIBLES EN EL LABORATORIO DE CIENCIA DE MATERIALES DE LA UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS ESPE”*** cuyo contenido, ideas y criterios son de mi autoría y responsabilidad.

**Sangolquí, 27 de febrero del 2018**

**EDWIN JAVIER LOGACHO TRIBULES**

**C.C. 1720232972**

## DEDICATORIA

El presente proyecto de grado especialmente está dedicado a la memoria de mi querida Madre Antonieta quien me enseñó a perseverar y luchar por mis sueños e ideales.

A mí querido padre Patricio por ser mi ejemplo, mi apoyo y mi guía, a mis hermanos Karina y Erick por brindarme su apoyo y confianza.

A mí querida esposa Mery por ser el pilar fundamental de mi hogar quien con su lucha y perseverancia me apoyo durante mi carrera universitaria y me extendió más que su mano para conseguir esta meta en mi vida.

A mi hijita Nathaly Monserrath por ser la razón de mis días y mi motivación principal para alcanzar esta meta.

Y para terminar dedico también esta meta a mis queridos abuelitos y demás familiares quienes creyeron en mí brindándome su apoyo y cariño en todo momento.

Gabriel

## **DEDICATORIA**

El presente proyecto se realizó en base al apoyo incondicional de mi familia, de mi padre Manuel, de mis hermanas Natali y Dulce María y a mi madre Ana Lucía Tribules, de manera muy especial este trabajo es dedicado a la persona que lucha día a día, que mira nuestro bienestar y se esfuerza constantemente por brindarme apoyo, enseñanza, paciencia y sobretodo amor de madre, te dedico a ti madre mía este esfuerzo, dedicación y el logro de alcanzar una meta. También dedico este trabajo a mi padre por su apoyo y esfuerzo constante para alcanzar este objetivo, de igual manera a mi hermana Natali por su confianza y brindarme su apoyo en los momentos que los necesite para cumplir con el proyecto.

Edwin



## **AGRADECIMIENTO**

Primero agradezco a Dios por haberme regalado esta dicha quien me guía y me acompaña junto a mi madre día tras día, a mi padre por el sacrificio y lucha que realiza siempre, a mis queridos hermanos por su presencia y apoyo incondicional, a Dolores por ser un ejemplo a seguir y por brindarme su valiosa amistad.

De manera muy especial a mi esposa Mery, por ser más que una compañera una amiga quien jamás me ha fallado y que siempre está presente en mis caídas así como también en mis triunfos.

A mis familiares quienes confiaron en mí a lo largo de mi trayectoria universitaria hasta culminar esta etapa de mi vida.

A la Universidad de las Fuerzas Armadas “ESPE” y docentes, agradezco por cada uno de los conocimientos adquiridos en el transcurso de mi carrera ya que gracias a ellos podré aplicarlo en mi vida profesional destacando valores propios.

Gabriel

## **AGRADECIMIENTO**

Gracias a mis padres por su apoyo incondicional, e inculcarme la confianza en Dios, gracias Señor por bendecirme con este objetivo alcanzado.

Agradezco a mi madre, a mi padre, a mi hermana por formar parte de los días de esfuerzo, y por apoyarme constantemente durante todas las etapas del proyecto, gracias por su paciencia y confianza.

Agradezco a todos mis familiares que estuvieron en los momentos difíciles y me apoyaron durante el transcurso del proyecto. De manera muy especial agradezco a mi abuelita María Caiza por todas las enseñanzas recibidas, por inculcarme valores, y tener su apoyo incondicional. De igual manera agradezco Anita Muenala por su confianza y apoyo constante para alcanzar este objetivo.

Edwin

## ÍNDICE

CAPÍTULO 1 GENERALIDADES .....	1
1.1. Antecedentes .....	1
1.2. Justificación .....	2
1.3. Alcance del proyecto .....	2
1.4. Objetivos .....	3
1.4.1. Objetivo General.....	3
1.4.2. Objetivos Específicos.....	3
CAPÍTULO 2 MARCO TEÓRICO.....	4
2.1. Fundición.....	4
2.1.1. Definición.....	4
2.1.2. Etapas del proceso de fundición.....	4
2.1.3. Principios de solidificación.....	5
2.1.3.1. Nucleación .....	5
A. Nucleación homogénea.....	6
B. Nucleación heterogénea.....	6
C. Velocidad de nucleación.....	7
2.1.3.2. Estructura de la pieza colada .....	8
A. Zona de enfriamiento rápido .....	8
B. Zona columnar .....	8
C. Zona equiáxica .....	8
2.1.3.3. Mecanismos de crecimiento .....	9
A. Crecimiento planar .....	10
B. Crecimiento dendrítico .....	10

2.1.3.4.	Tiempo de solidificación.....	11
2.1.3.5.	Curvas de enfriamiento.....	14
2.1.3.6.	Defectos.....	15
A.	Llenado incompleto:.....	15
B.	Junta fría.....	16
C.	Cavidad por contracción.....	16
D.	Microporosidad.....	17
E.	Sopladuras o porosidad por gas.....	17
F.	Agrietamiento en caliente.....	17
2.1.4.	Tipos de procesos de fundición.....	18
2.1.4.1.	Fundición en molde metálico permanente.....	20
A.	Criterios generales de diseño de moldes permanentes.....	22
B.	Materiales para el molde metálico.....	24
2.1.4.2.	Fundición por gravedad.....	26
A.	Ventajas.....	27
B.	Desventajas.....	27
C.	Aplicaciones.....	27
2.1.5.	Metales para fundición.....	28
2.1.5.1.	Aleaciones de aluminio.....	28
A.	Características físicas.....	29
B.	Características mecánicas.....	29
C.	Características químicas.....	29
D.	Ventajas de las aleaciones de aluminio.....	32
E.	Desventajas de las aleaciones de aluminio.....	33

2.1.5.2.	Procesos de moldeo para el aluminio .....	33
2.1.5.3.	Colabilidad y fluidez del aluminio.....	35
2.2.	Horno de crisol.....	37
2.3.	Sistema de extracción de gases.....	39
2.3.1.	Gases generados por la fundición.....	39
2.3.2.	Tipos de extracción .....	41
2.3.3.	Componentes de un sistema de extracción localizada simple .....	41
2.4.	Prensa manual .....	46
CAPÍTULO 3 REQUERIMIENTOS Y PARÁMETROS DE DISEÑO .....		50
3.1.	Introducción.....	50
3.2.	Sistema de basculación del horno.....	50
3.2.1.	Requerimientos .....	54
A.	Estudio de alternativas .....	54
a.	Transmisión de tornillo sin fin-corona con accionamiento mecánico .....	54
b.	Transmisión de tornillo sin fin-corona con accionamiento automático .....	56
B.	Selección de alternativas.....	61
3.3.	Molde metálico .....	62
3.3.1.	Requerimientos .....	63
3.3.2.	Parámetros .....	63
A.	Consideraciones constructivas .....	64
B.	Material para el molde .....	65
C.	Parámetros térmicos .....	66
3.4.	Prensa Manual.....	66
3.4.1.	Requerimientos.....	67

3.4.2. Componentes .....	67
3.5. Sistema de extracción de gases.....	69
3.5.1. Parámetros .....	72
3.5.2. Requerimientos .....	73
CAPÍTULO 4 DISEÑO.....	74
4.1. Introducción.....	74
4.2. Diseño del sistema de basculación del horno .....	74
4.2.1. Torque generado por el horno .....	74
4.2.2. Diseño del sistema automático de basculación .....	76
4.2.2.2. Circuito del sistema de control .....	78
4.2.3. Diseño del sistema manual tornillo sin fin-corona .....	79
4.2.3.1. Selección de la corona .....	79
4.2.3.2. Verificación del torque generado en la corona .....	80
A. Ángulo de avance del tornillo sin fin .....	80
B. Diámetros de pasos del tornillo sin fin y la corona .....	81
C. Carga tangencial permisible sobre la rueda .....	82
4.2.3.3. Esfuerzo por flexión en la corona .....	85
4.2.3.5. Geometría de la corona .....	88
4.2.3.6. Eficiencia mecánica de la corona.....	89
4.2.3.7. Diseño del eje de la corona .....	90
4.2.3.8. Diseño del eje del tornillo sin fin.....	101
4.3. Diseño del molde metálico.....	109
4.4. Diseño de una prensa manual.....	119
4.4.1. Diseño de los ejes .....	120

4.4.2.	Diseño de las placas externas.....	128
4.4.3.	Diseño de las placas fijas.....	129
4.4.4.	Diseño de la placa móvil .....	133
4.4.5.	Diseño del tornillo de ajuste .....	134
A.	Par de torsión para deslizar el tornillo (avance).....	137
B.	Par de torsión para deslizar el tornillo (retroceso) .....	138
C.	Eficiencia del tornillo .....	138
D.	Dimensiones de la tuerca .....	139
4.4.6.	Diseño los bocines .....	140
4.4.8.	Selección de los pernos .....	142
4.5.	Diseño del sistema de extracción de gases .....	143
4.5.1.	Dimensiones de la campana.....	143
4.5.2.	Caudal de aire de captación .....	145
4.5.3.	Dimensiones del ducto .....	145
4.5.4.	Presión dinámica en el ducto .....	146
4.5.5.	Pérdidas de carga .....	147
A.	Perdida de carga en los tramos rectos del ducto .....	147
B.	Perdida de carga en componentes y tramos no rectos .....	147
a.	Coficiente de pérdida en la entrada a la campana .....	148
b.	Coficiente de pérdida en el codo.....	149
4.5.6.	Selección del extractor .....	149
CAPÍTULO 5 IMPLEMENTACIÓN, PRUEBAS Y COSTOS .....		150
5.1.	Implementación del sistema integrado de fundición.....	150
5.2.	Pruebas de funcionamiento .....	154

5.3. Costos.....	165
CONCLUSIONES .....	170
RECOMENDACIONES .....	171
ANEXOS.....	172
Bibliografía.....	187



## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Nucleación Heterogénea .....	6
<b>Figura 2.</b> Regiones solidificadas .....	7
<b>Figura 3.</b> Velocidad de nucleación (I) .....	7
<b>Figura 4.</b> Estructuras de metales fundidos solidificados .....	9
<b>Figura 5.</b> Crecimiento Planar .....	10
<b>Figura 6.</b> Crecimiento Dendrítico.....	11
<b>Figura 7.</b> Distancia entre brazos de la dendrita.....	13
<b>Figura 8.</b> Distancia entre brazos dendríticos .....	13
<b>Figura 9.</b> Obtención de propiedades mecánicas .....	14
<b>Figura 10.</b> Curva de enfriamiento de una aleación .....	15
<b>Figura 11.</b> Defectos por contracción.....	17
<b>Figura 12.</b> Defectos de solidificación .....	18
<b>Figura 13.</b> Tipos de fundición .....	19
<b>Figura 14.</b> Molde Metálico con cierre .....	22
<b>Figura 15.</b> Molde permanente o coquilla para fundición.....	34
<b>Figura 16.</b> Vaciado por gravedad en una coquilla .....	35
<b>Figura 17.</b> Factores que intervienen en la fluidez .....	36
<b>Figura 18.</b> Horno de fundición de crisol .....	37
<b>Figura 19.</b> Ventilador de ducto.....	45
<b>Figura 20.</b> Ventilador centrífugo .....	46
<b>Figura 21.</b> Prensas manuales.....	48
<b>Figura 22.</b> Entenalla de banco .....	49
<b>Figura 23.</b> Sistema de basculación del horno .....	52
<b>Figura 24.</b> Posición de equilibrio del horno .....	53
<b>Figura 25.</b> Contacto entre el horno y el soporte transversal .....	53
<b>Figura 26.</b> Sistema de basculación mecánico .....	55
<b>Figura 27.</b> Limpieza interna de la caja reductora.....	58
<b>Figura 28.</b> Cambio de aceite del reductor .....	58
<b>Figura 29.</b> Prueba de funcionamiento de la caja reductora.....	59

<b>Figura 30.</b> Sistema automático de basculación.....	60
<b>Figura 31.</b> Conjunto mesa-prensa manual.....	68
<b>Figura 32.</b> Limpieza del quemador.....	70
<b>Figura 33.</b> Prueba del quemador .....	70
<b>Figura 34.</b> Horno encendido .....	71
<b>Figura 35.</b> Altura del depósito de combustible.....	72
<b>Figura 36.</b> Ensamble Horno-Quegador .....	75
<b>Figura 37.</b> Inercia del conjunto horno-quegador .....	75
<b>Figura 38.</b> Esquema del sistema automático de basculación .....	77
<b>Figura 39.</b> Ejes del sistema de basculación automática.....	91
<b>Figura 40.</b> Fuerzas en el eje de la corona .....	92
<b>Figura 41.</b> Diagrama de fuerza cortante y momento flector en el eje x-y.....	92
<b>Figura 42.</b> Diagrama de fuerza cortante y momento flector en el eje x-z.....	93
<b>Figura 43.</b> Factor Kt de concentración de esfuerzos .....	96
<b>Figura 44.</b> Factor de sensibilidad a la muesca.....	96
<b>Figura 45.</b> Diagrama de cuerpo libre del eje del tornillo sin fin .....	102
<b>Figura 46.</b> Diagrama de fuerza cortante y momento flector en el plano y-x.....	104
<b>Figura 47.</b> Diagrama de fuerza cortante y momento flector en el plano z-x.....	105
<b>Figura 48.</b> Diagrama de transferencia de calor.....	114
<b>Figura 49.</b> Diagrama de transferencia de calor del cilindro.....	115
<b>Figura 50.</b> Diagrama de cuerpo libre del eje .....	120
<b>Figura 51.</b> Diagrama de distribución de cargas, cortante y momento flector .....	122
<b>Figura 52.</b> Resultados de los esfuerzos presentes en los ejes .....	123
<b>Figura 53.</b> Esquema de las principales fuerzas en las placas .....	129
<b>Figura 54.</b> Esquema de cargas en la placa fija 1.....	130
<b>Figura 55.</b> Diagrama cortante y momento flector.....	131
<b>Figura 56.</b> Partes constitutivas de la placa móvil.....	134
<b>Figura 57.</b> Tornillo de ajuste y su funcionamiento .....	135
<b>Figura 58.</b> Bocín de bronce y sus dimensiones .....	140
<b>Figura 59.</b> Partes del soporte de accionamiento .....	142

<b>Figura 60.</b> Selección de pernos .....	143
<b>Figura 61.</b> Campana elevada.....	144
<b>Figura 62.</b> Sistema de basculación automática .....	151
<b>Figura 63.</b> Sistema de basculación manual .....	152
<b>Figura 64.</b> Sistema de extracción de gases.....	153
<b>Figura 65.</b> Molde metálico.....	153
<b>Figura 66.</b> Verificación del sistema manual.....	154
<b>Figura 67.</b> Verificación del sistema automático .....	155
<b>Figura 68.</b> Chimenea del horno .....	156
<b>Figura 69.</b> Encendido del horno .....	157
<b>Figura 70.</b> Alineamiento del molde metálico .....	158
<b>Figura 71.</b> Medición del peso del aluminio.....	159
<b>Figura 72.</b> Llenado del crisol .....	159
<b>Figura 73.</b> Alufundex .....	160
<b>Figura 74.</b> Fundición completa del aluminio.....	161
<b>Figura 75.</b> Apartagas .....	161
<b>Figura 76.</b> Aplicación de grafito en el molde metálico .....	162
<b>Figura 77.</b> Calentamiento del molde metálico.....	163
<b>Figura 78.</b> Elementos para verter el material fundido .....	163
<b>Figura 79.</b> Vaciado del material fundido .....	164
<b>Figura 80.</b> Probetas de aluminio.....	164

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1</b> <i>Propiedades de algunos materiales</i> .....	16
<b>Tabla 2</b> <i>Resumen de procesos de fundición</i> .....	20
<b>Tabla 3</b> <i>Características del molde permanente</i> .....	21
<b>Tabla 4</b> <i>Materiales recomendados para moldes permanentes</i> .....	25
<b>Tabla 5</b> <i>Propiedades de materiales para fabricar la coquilla</i> .....	26
<b>Tabla 6</b> <i>Nomenclatura de aleaciones de aluminio forjado y fundido</i> .....	30
<b>Tabla 7</b> <i>Propiedades mecánicas del aluminio y sus aleaciones</i> .....	31
<b>Tabla 8</b> <i>Tipos de combustibles usados en los hornos de crisol</i> .....	39
<b>Tabla 9</b> <i>Tipos de campanas</i> .....	43
<b>Tabla 10</b> <i>Dimensiones de la corona</i> .....	51
<b>Tabla 11</b> <i>Dimensiones del piñón</i> .....	51
<b>Tabla 12</b> <i>Sistema de basculación mecánico</i> .....	56
<b>Tabla 13</b> <i>Características del reductor de velocidad</i> .....	57
<b>Tabla 14</b> <i>Resultados de la prueba a la caja reductora</i> .....	57
<b>Tabla 15</b> <i>Sistema automático de basculación</i> .....	60
<b>Tabla 16</b> <i>Características de los sistemas de basculación</i> .....	62
<b>Tabla 17</b> <i>Propiedades del acero ASTM A36</i> .....	66
<b>Tabla 18</b> <i>Parámetros del sistema de extracción</i> .....	73
<b>Tabla 19</b> <i>Número de dientes sugeridos por la AGMA para engranajes</i> .....	79
<b>Tabla 20.</b> <i>Resistencia a la tensión de fundición gris</i> .....	88
<b>Tabla 21.</b> <i>Combinación de materiales para tornillo sin fin-corona</i> .....	88
<b>Tabla 22.</b> <i>Geometría de la corona</i> .....	89
<b>Tabla 23.</b> <i>Factor de acabado superficial</i> .....	97
<b>Tabla 24.</b> <i>Factor de temperatura</i> .....	97
<b>Tabla 25.</b> <i>Geometría del tornillo sin fin</i> .....	102
<b>Tabla 26.</b> <i>Parámetros dimensionales básicos del tornillo</i> .....	137
<b>Tabla 27.</b> <i>Eficiencia de cuerdas cuadradas</i> .....	139
<b>Tabla 28.</b> <i>Costos del sistema manual de basculación</i> .....	165
<b>Tabla 29.</b> <i>Costos del sistema automático de basculación</i> .....	166

<b>Tabla 30.</b> <i>Costos del sistema de extracción de gases</i> .....	167
<b>Tabla 31.</b> <i>Costos del molde metálico y prensa manual</i> .....	168
<b>Tabla 32.</b> <i>Costos de pruebas y otros</i> .....	168
<b>Tabla 33.</b> <i>Costos generales</i> .....	169

## RESUMEN

El presente trabajo de titulación tiene por objetivo diseñar y construir una instalación integrada para colada de semiproductos en moldes metálicos a partir de los equipos disponibles en el Laboratorio de Ciencia de Materiales de la Universidad de las Fuerzas Armadas “ESPE”, dicha instalación servirá para la elaboración de probetas cilíndricas y prismáticas a través del proceso de fundición de aluminio en molde metálico, que posteriormente se emplearán en las prácticas del Laboratorio de Procesos de Manufactura I. El diseño y construcción de la instalación integrada está conformada por un sistema de basculación del horno, un molde metálico, una prensa manual portamolde y un sistema de extracción de gases. El sistema de basculación del horno está formado por dos sistemas uno automático que se activa mediante un sistema de control y uno manual conformado por un tornillo sin fin-corona, asegurando la basculación y el autobloqueo del horno con cualquiera de sus dos alternativas de manera óptima y segura. El sistema de extracción de gases permite una evacuación de los gases generados por el horno de crisol, de tal forma que la práctica de fundición se realizará con seguridad y en un ambiente de trabajo idóneo. Para realizar la prueba del sistema integrado de fundición, se inició con la verificación de cada etapa del proceso, posteriormente con los elementos de seguridad personal, se realizó el proceso de fundición de aluminio.

### **PALABRAS CLAVES:**

- **INSTALACIÓN**
- **MOLDE METÁLICO**
- **FUNDICIÓN**
- **PROBETAS**
- **ALUMINIO**

## **ABSTRACT**

This degree work has as aim to design and to build an integrated installation for foundry semi-products in metal molds from the equipment available in the science Laboratory of the University of the Armed Forces “ESPE”, this installation will serve for the production of cylindrical and prismatic specimens through the aluminum casting in metallic mold, that will later be used in the laboratory practices of Manufacturing Processes I. The design and construction of the integrated facility is comprised of a system of furnace tilting, a metal mold a manual press mold holder and a gas extraction system. The system of furnace tilting is formed by two systems one automatic that is activated by a control system and a manual one formed by a screw mechanism, ensuring the tilting and self-blocking of the furnace with any of these two alternatives in an optimal way and secure. The gas extraction system allows an evacuation of the gases generated by the crucible furnace, in such a way that the practice of casting will be carried out safely in a suitable working environment. To carry out the test of the integrated casting system, it began with the verification of each stage of the process, subsequently with the personal safety elements, and finally it concluded with the aluminum casting process.

### **KEYWORDS:**

- **INSTALLATION**
- **METALLIC MOLD**
- **CASTING**
- **SPECIMENS**
- **ALUMINUM**

# CAPÍTULO 1

## GENERALIDADES

### 1.1. Antecedentes

El tema del proyecto responde a una necesidad de brindar una solución a las prácticas de laboratorio de la cátedra de Procesos de Manufactura I, integrando los equipos y procesos disponibles, como es el horno basculante de capacidad de 150 [kg] y la fundición de materiales no ferrosos respectivamente, para obtener un producto que cumpla con las necesidades de las prácticas a realizarse.

Actualmente el Laboratorio de Ciencia de Materiales de la Universidad de las Fuerzas Armadas “ESPE”, se encuentra desarrollando las prácticas correspondientes a la cátedra de Tecnología de los Materiales en los temas de fundición, dichas prácticas son efectuadas por los alumnos de Mecánica, utilizando los hornos de fundición existentes en el laboratorio.

Dentro de los varios hornos que posee el laboratorio, se halla un horno basculante manual para la fundición de materiales no ferrosos de una capacidad de hasta 150 [kg], el mismo que se encuentra con una operatividad óptima, sin embargo, presenta algunos inconvenientes en su diseño lo que implica hacer una readecuación a fin de satisfacer su correcto uso y mejorar la maniobrabilidad, para facilitar el manejo y control del horno en el instante mismo en el que se verterá la colada en el molde metálico.

El quemador del horno produce emanación de gases de combustión durante su funcionamiento, que se expanden por todo el laboratorio debido a que no existe un extractor de gases presente directamente en la chimenea del horno, siendo esta una condición para no utilizar el horno en las prácticas de laboratorio.

Se requiere implementar una instalación integrada de un sistema que se constituye de un molde metálico para la fabricación de semiproductos junto con una prensa manual para el cierre del molde



metálico a partir de los equipos disponibles en el laboratorio de Ciencia de los Materiales de la Universidad de las Fuerzas Armadas “ESPE”.

## **1.2. Justificación**

Mediante el presente proyecto a desarrollarse se pretende satisfacer una necesidad conjunta entre los laboratorios de Ciencias de Materiales y Procesos de Manufactura I, que consiste en dar un uso adecuado del horno basculante mediante una instalación integrada para colada de semiproductos que satisfagan los requerimientos para las prácticas propuestas, de esta manera se afianza los conocimientos teóricos adquiridos en las aulas y a su vez brindará la oportunidad de generar proyectos nuevos de investigación para los alumnos de la Universidad de las Fuerzas Armadas “ESPE”.

En el Laboratorio de Ciencia de Materiales, no se realiza la producción de semiproductos fundidos. Se dispone de un horno de crisol que puede garantizar la fundición de aleaciones metálicas, por tal razón se ve la necesidad de mejorar el sistema de basculación del horno, implementar un sistema de extracción de gases junto con un sistema para colada de piezas en el molde metálico.

## **1.3. Alcance del proyecto**

Al finalizar el proyecto se tendrá una base teórica sólida referente al diseño del sistema de extracción de gases, diseño de la prensa manual, y el diseño de moldes metálicos para la fabricación de semiproductos.

Identificar, seleccionar y mejorar el sistema de basculación del horno de crisol, según los requerimientos de diseño.

Capacidad de dar respuestas e incursionar en las técnicas eficientes que emplea la industria ecuatoriana, referente a los procesos de fundición, sus aplicaciones y diseño de moldes metálicos que ofrezcan soluciones a los problemas de fundición.

## **1.4. Objetivos**

### **1.4.1. Objetivo General**

Diseñar y construir una instalación integrada para colada de semiproductos en moldes metálicos a partir de los equipos disponibles en el Laboratorio de Ciencia de Materiales de la Universidad de las Fuerzas Armadas “ESPE”.

### **1.4.2. Objetivos Específicos**

- Diseñar y construir el sistema de basculación del horno.
- Diseñar y construir el molde metálico para la fabricación de semiproductos.
- Diseñar y construir una prensa manual para el cierre del molde metálico.
- Diseñar y construir el sistema de extracción de gases.
- Ensamblar la instalación integrada para colada de semiproductos.
- Efectuar pruebas de funcionamiento de la instalación integrada para colada de semiproductos.

## **CAPÍTULO 2**

### **MARCO TEÓRICO**

#### **2.1. Fundición**

Las primeras fundiciones se realizaban a base de metales como fueron el oro, la plata, el bronce, el cobre entre otros, para satisfacer las necesidades de armamento o herramientas, así como también piezas ornamentales, de esta manera se fue constituyendo en un método de fabricación empleado hasta la actualidad mejorando sus técnicas y aplicaciones a nivel ingenieril.

##### **2.1.1. Definición**

La fundición es un proceso para producir un determinado producto con características específicas a partir de un molde, mediante el llenado con el metal fundido de las cavidades y conductos existentes en el molde hasta conseguir que se solidifique, y posteriormente extraer la pieza fundida del molde.

##### **2.1.2. Etapas del proceso de fundición**

- Preparación del molde permanente metálico, armado, cierre y fijación de las dos partes del molde. La cavidad se diseñará en forma y tamaño con tolerancias dimensionales de acuerdo a la contracción del aluminio durante la solidificación y enfriamiento, también se tendrá en consideración los requerimientos del laboratorio de Procesos de Manufactura I para el diseño de los semiproductos.
- Se calienta el metal a una temperatura suficientemente alta para transformarlo a estado líquido. Para nuestro proyecto se alcanzará la temperatura de fusión del aluminio aproximadamente 660°C. (Schey, 2002, pág. 204)

- El vaciado y el modelado del aluminio dentro de la cavidad del molde para el presente proyecto se lo realizarán mediante el proceso de fundición por gravedad, porque es un método versátil, sin el empleo de un mecanismo automático como es el caso de una fundición por presión o centrifugado, disminuyendo el costo del proceso.
- Extracción de la pieza mediante la separación de las dos partes del molde, usando un sistema de apertura y cierre, basado en el funcionamiento de una prensa de banco.
- Limpieza del molde metálico después de haber retirado la pieza solidificada, debido a la generación de escoria y otros residuos, propios del proceso de fundición.

### **2.1.3. Principios de solidificación**

La solidificación es un proceso mediante el cual se funden metales como acero, bronce, cobre y en nuestro caso el aluminio, siendo uno de los procesos de manufactura más importantes para fabricar componentes como herramientas y otros productos útiles.

La solidificación es una de las tecnologías de mucha importancia que sirve para controlar los efectos sobre las propiedades de los materiales fundidos. Los materiales se solidifican al enfriarse por debajo de su temperatura de solidificación, se cristalizan, y el arreglo atómico cambia de un orden de corto alcance a uno de largo alcance.

#### **2.1.3.1. Nucleación**

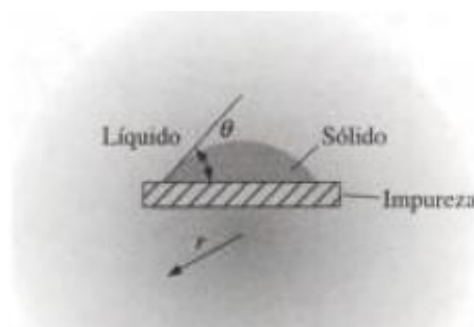
La nucleación es la formación de los primeros pequeños cristales de nano-tamaño, donde indica la etapa inicial en la formación de pequeños núcleos en el cambio de fase de líquido a sólido desde que el material se funde hasta que se solidifica. Debido a que la energía asociada con la estructura cristalina del sólido es menor que la energía del líquido el metal fundido se solidifica. (Askeland, 2004, pág. 360)

### A. Nucleación homogénea

La nucleación homogénea es la formación de un núcleo rodeado completamente de líquido, que se presenta cuando el subenfriamiento del material fundido es suficientemente alto.

### B. Nucleación heterogénea

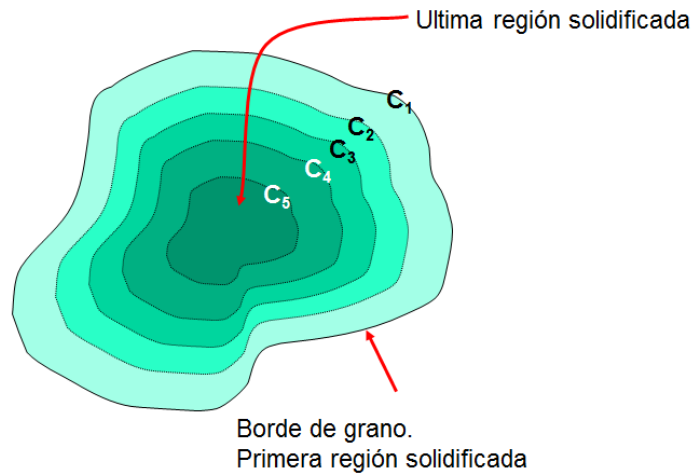
La nucleación heterogénea como se muestra en la Figura 1, se presenta sobre superficies o impurezas, formando núcleos en zonas de contacto, entre las paredes del molde y el metal fundido, se forma con un porcentaje bajo de subenfriamiento.



**Figura 1.** Nucleación Heterogénea

Fuente: (Askeland, 2004)

Para nuestro proyecto, se generará una nucleación homogénea en la zona C5 y una nucleación heterogénea en la zona C1, como se muestra en la Figura 2. La solidificación del metal comienza en las paredes del molde hacia el interior del mismo, lo que hace que exista un frente de solidificación que avanza hacia el interior del molde en función de la disminución de la temperatura con el tiempo. (Goyos, Tecnología de la fundición II, 1992, pág. 97)

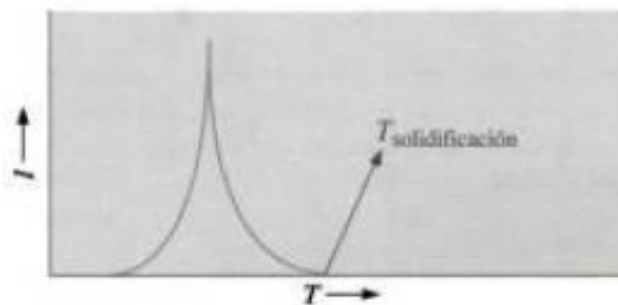


**Figura 2.** Regiones solidificadas

### C. Velocidad de nucleación

La velocidad de nucleación está dada en función de la temperatura presente en el proceso de fundición, siendo la cantidad de núcleos formados por unidad de tiempo, como se indica la Figura 3. A temperaturas mayores que el punto de solidificación la velocidad de nucleación es cero. Al bajar la temperatura del líquido aumenta la fuerza motriz para la nucleación. (Askeland, 2004, pág. 364)

La fuerza motriz es la energía para generar núcleos, originando un gradiente de temperatura, al iniciar el enfriamiento del metal líquido.



**Figura 3.** Velocidad de nucleación (I)

Fuente: (Askeland, 2004)

### **2.1.3.2. Estructura de la pieza colada**

En la producción de componentes mediante el proceso de fundición, el metal fundido se vierte en un molde y se solidifica consiguiendo la forma final del producto. La estructura de la pieza fundida consiste en tres zonas que se describen a continuación:

#### **A. Zona de enfriamiento rápido**

La zona de enfriamiento rápido es una zona angosta de granos con orientación aleatoria (Figura 4.a) que se generan en la superficie de la pieza y tiene un crecimiento lento. El metal fundido primero llega a la temperatura de solidificación en la pared del molde y en esta zona existen algunas superficies que dan lugar a la nucleación heterogénea.

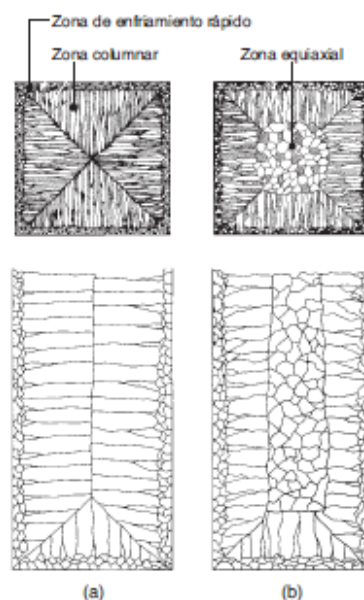
#### **B. Zona columnar**

La zona columnar se forma en la zona de enfriamiento rápido, se caracteriza por contener granos alargados en direcciones que son paralelas entre sí (ver Figura 4.a), y crecen con más rapidez, proporcionando propiedades anisotrópicas a esta zona. La zona columnar se forma principalmente por el crecimiento y no por la nucleación.

Una propiedad anisotrópica es la variación de una propiedad física en determinada dirección como la elasticidad, conductividad, entre otras.

#### **C. Zona equiáxica**

La zona equiáxica frecuentemente se genera en el centro de la pieza fundida, y contiene granos orientados aleatoriamente y crecen en forma relativamente redonda o equiáxica (ver Figura 4.b), a causa de la baja temperatura de vaciado, de las aleaciones presentes o del uso inoculantes.



**Figura 4.** Estructuras de metales fundidos solidificados

Fuente: (Kalpakjian, 2008)

Según las estructuras que se forman en los límites entre el metal fundido y el molde metálico para nuestro proyecto se obtendrá una zona de enfriamiento rápido debido principalmente a la presencia del molde metálico que ayuda a que se presente una velocidad de enfriamiento muy rápida por las propiedades de conducción de calor que presenta el molde metálico.

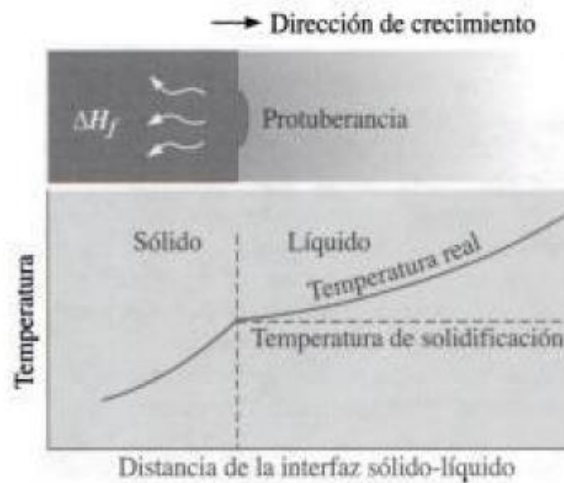
### 2.1.3.3. Mecanismos de crecimiento

Cuando se ha presentado el cambio de fase de líquido a sólido comienza a formarse el crecimiento de átomos, una vez que empiezan a fijarse los átomos en la superficie del sólido, este crecimiento atómico depende de la forma en cómo se elimina el calor del material fundido, que en el proceso de solidificación se presenta mediante dos tipos de calor; el calor específico que se encuentra en el metal fundido en estado líquido que se lo elimina mediante radiación hacia la atmósfera o por conducción a través del molde que lo contiene, hasta que el material líquido alcanza la temperatura de solidificación, y el calor latente de fusión que es el calor producido al momento de suministrar suficiente calor al material para que se funda, en consecuencia en esta acción los cristales del material sólido se transforman en líquido.



### A. Crecimiento planar

Este fenómeno se presenta en la nucleación heterogénea, en la interfaz sólido-líquido, manteniéndose en la fase líquida, aquí la temperatura del líquido es mucho mayor que la temperatura de solidificación, en esta instancia se produce una protuberancia (ver Figura 5), que detiene su crecimiento hasta que se iguala toda la temperatura en la interfaz sólido-líquido, en la solidificación el calor latente producido se elimina mediante la conducción.

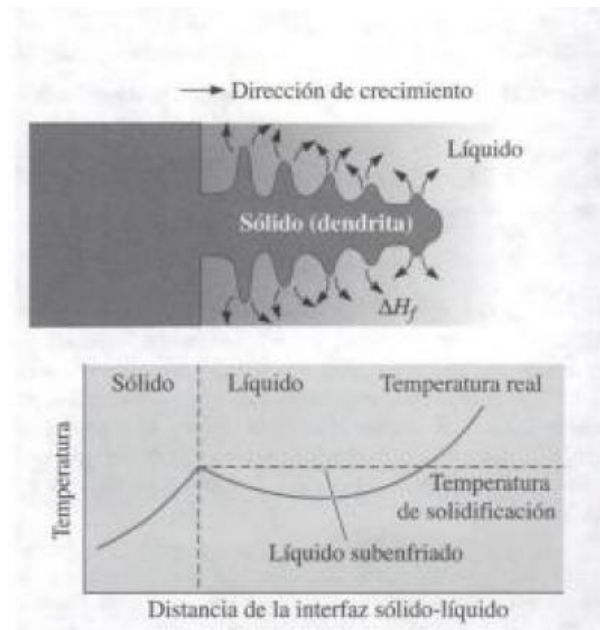


**Figura 5.** Crecimiento Planar

Fuente: (Askeland, 2004)

### B. Crecimiento dendrítico

Cuando se produce una nucleación de mala calidad, se recurre al subenfriamiento del metal fundido hasta que alcance la solidificación, produciéndose una protuberancia llamada dendrita que se forma en la interfaz líquida, debido al subenfriamiento, como se muestra en la Figura 6 (protuberancia dendrítica en la fase sólido-líquido). En esta etapa el molde absorbe el calor en el crecimiento planar, mientras que en el líquido subenfriado absorbe el calor en el crecimiento dendrítico.



**Figura 6.** Crecimiento Dendrítico

Fuente: (Askeland, 2004)

En las aleaciones la solidificación se inicia cuando la temperatura se reduce por debajo de la temperatura liquidus,  $T_L$ , y es completa cuando alcanza la temperatura solidus,  $T_S$ , dentro de este rango de temperatura, la aleación está en un estado blando o pastoso con dendritas columnares. Por lo general las aleaciones de aluminio tienen zonas blandas anchas es decir tienen un rango de solidificación largo con una diferencia de temperaturas de más de  $110^\circ\text{C}$ . (Kalpakjian, 2008, pág. 263)

Haciendo referencia a lo señalado anteriormente sobre los mecanismos de crecimiento, para el presente proyecto se espera obtener un crecimiento planar en la zona C1, y un crecimiento dendrítico desde la zona C2 hasta la zona C5, como se muestra anteriormente en la Figura 2 .

#### **2.1.3.4. Tiempo de solidificación**

Es la velocidad con la que se produce el crecimiento de los granos en el sólido. Es el tiempo  $T_s$  total necesario para que el metal fundido se solidifique una vez vertido en el molde metálico viene

dado por la regla de Chvorinov citada en la ecuación (1), que relaciona el volumen y el área superficial del metal fundido:

$$T_s = B \left( \frac{V}{A} \right)^n \quad (1)$$

Donde  $n$  es un parámetro que tiene un valor de 2, mientras que  $B$  es una constante que depende de las características del material del molde, las propiedades del metal incluyendo el calor latente, la densidad, conductividad térmica, capacidad calorífica, la temperatura. El parámetro  $B$  se calcula según la ecuación (2), teniendo lo siguiente:

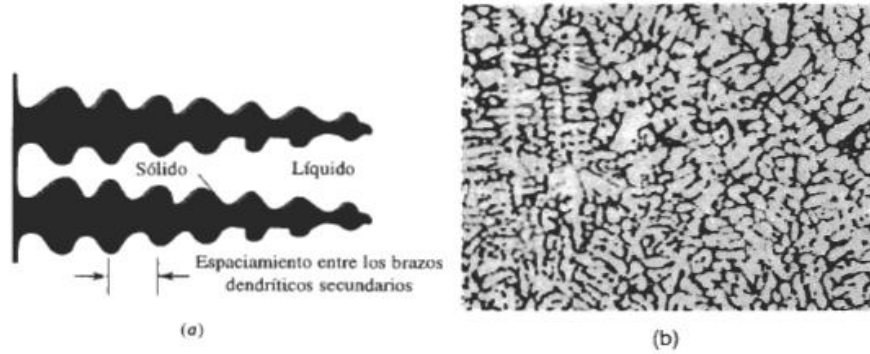
$$B = \left[ \frac{\rho_m (c_p (T_v - T_s) + L) * \sqrt{\pi a}}{2k(T_s - T_o)} \right]^2 \quad (2)$$

Dónde:

- $\rho_m$  densidad del metal [kg/m<sup>3</sup>]
- $L$  calor latente de fusión [J/kg]
- $T_s$  temperatura de solidificación [°K]
- $T_o$  temperatura inicial a la que se encuentra el molde [°K]
- $T_v$  temperatura de vertido [°K]
- $K$  conductividad térmica del molde [W/m°K]
- $C_p$  calor específico del metal [J/kg°K]
- $a$  termodifusividad de la coquilla [m<sup>2</sup>/s]

El tamaño de las dendritas se mide a través de las distancias entre los brazos secundarios que se forman durante su desarrollo como se muestra en la Figura 7.a, donde se ve afectado por el tiempo

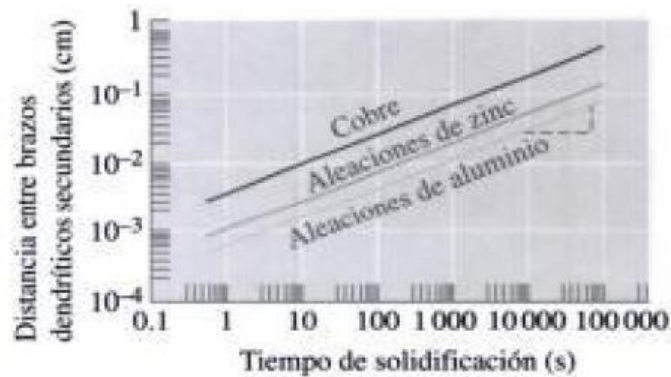
de solidificación, esta distancia tiende a reducirse cuando el metal fundido se enfría con mayor rapidez. En la Figura 7.b se muestra la estructura dendrítica en una aleación típica de aluminio.



**Figura 7.** Distancia entre brazos de la dendrita

Fuente: (Askeland, 2004)

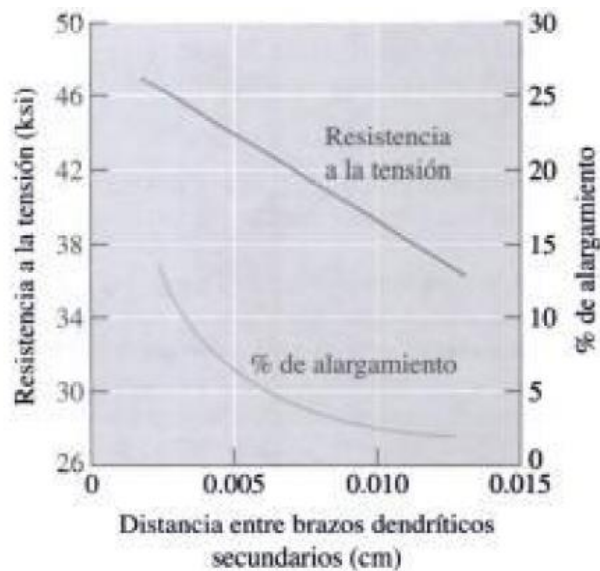
Como se muestra en la Figura 8, con el tiempo de solidificación establecido se puede obtener la distancia entre brazos dendríticos principalmente en aleaciones de aluminio, zinc y cobre.



**Figura 8.** Distancia entre brazos dendríticos

Fuente: (Askeland, 2004)

Una vez obtenido el valor de la distancia entre los brazos dendríticos, con la ayuda de la Figura 9 se puede determinar las propiedades mecánicas presentes en una aleación de aluminio como es la resistencia a la tensión y el porcentaje de alargamiento que muestran una relación inversamente proporcional a la distancia entre los brazos dendríticos, respectivamente.



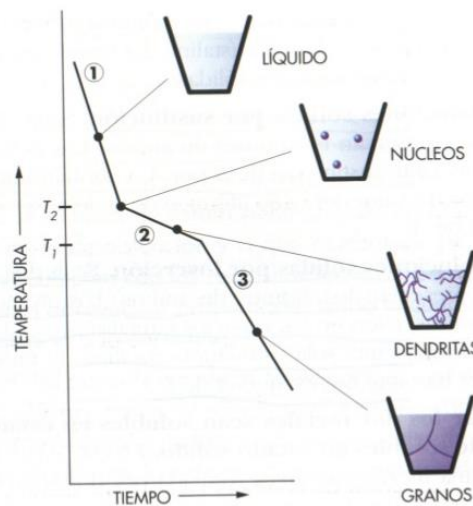
**Figura 9.** Obtención de propiedades mecánicas

Fuente: (Askeland, 2004)

### 2.1.3.5. Curvas de enfriamiento

En la curva de enfriamiento se muestra como varía la temperatura de un material en el transcurso del tiempo. El metal fundido se enfría cuando el molde extrae su calor específico, desde su temperatura de vaciado en el punto 1 hasta la temperatura de solidificación en el punto 2 como se muestra en la Figura 10, en una aleación durante la fase sólido-líquido se debe subenfriar el líquido para que se forme el sólido, en esta interfaz se crean las dendritas y al crecer la dendrita sólida, el calor latente de fusión pasa hacia el líquido subenfriado, elevando su temperatura hacia la temperatura de solidificación, como se muestra en la Figura 5.

La velocidad de enfriamiento en un molde metálico es mucho más rápida en comparación con un molde desechable, por ejemplo, en el molde permanente se disipa el calor por conducción entre las paredes del molde y por radiación con el ambiente, mientras que el molde de arena actúa como refractario concentrando más tiempo el calor en el material fundido, de esta manera a velocidades más rápidas de enfriamiento o tiempos de solidificación local cortos la estructura se hace más fina.



**Figura 10.** Curva de enfriamiento de una aleación

Fuente: (<https://es.slideshare.net/recursosabalar/aleaciones-diagramas>)

### 2.1.3.6. Defectos

En el proceso de fundición se generan varios defectos, debido a los distintos agentes que interactúan durante el procedimiento para elaborar un producto. Los defectos en un proceso de fundición se describen brevemente a continuación:

**A. Llenado incompleto:** consiste en una fundición que se solidificó antes de completar el llenado de la cavidad del molde (ver Figura 12.a), para evitar este defecto debe suministrarse la cantidad adecuada de colada. Se genera por las siguientes causas:

- Fluidez insuficiente del metal fundido

- Baja temperatura de vaciado
  - Vaciado lento
- B. Junta fría:** una junta fría consiste en dos porciones del metal fundido que fluyen al mismo tiempo, pero existe una falta de fusión entre las mismas, debido a la solidificación o enfriamiento prematuro (ver Figura 12.b).
- C. Cavidad por contracción:** este defecto es una depresión en el producto debido a la contracción por solidificación (ver Tabla 1) que disminuye la cantidad de metal fundido en la última zona que se solidifica. Con frecuencia se genera en la parte superior de la fundición, en este caso se denomina rechupe (ver Figura 11). Un adecuado diseño de la mazarota resuelve este tipo de defecto, que es un depósito adicional y comunicado con la pieza fundida, la mazarota debe solidificarse después de la pieza. Se puede usar la regla de Chvorinov para el diseñar el tamaño de la mazarota.

**Tabla 1**  
*Propiedades de algunos materiales*

Aleación	FG	FN	FB	AI	Br	L	FA
Densidad [kg/dm <sup>3</sup> ]	7.0 7.4	7.2 7.6	7.6 7.8	2.5 2.9	7.4 8.9	8.2 8.4	7.81 7.85
T colada [°C]	1150 1360	1300 1450	1300 1450	600 850	1100 1300	1000 1200	1500 1700
Contracción [%]	1.0 1.5	1.5 1.8	1.5 2.0	1.0 1.6	1.4 2.2	1.7 2.2	1.3 2.3
Calor de Fusión [kJ/kg]	2.9	-	-	419	176	-	230
Calor Especifico [kJ/kg·°C]	0.46	-	-	0.92	0.385	-	0.46
Dureza [HB]	150 260	150 350	400 600	50 80	50 300	40 160	250 450
Res. Tracción [Mpa]	100 400	300 1200	500 800	100 350	300 600	240 400	200 1400
Desgaste por Fricción	B	B	M	R	B	R	M
Desgaste Abrasivo	M	R	B	M	M	M	R
Corrosión Ambiental	M	M	R	B	B	B	

Fuente: (Goyos, Tecnología de la Fundición , 1992)



**Figura 11.** Defectos por contracción

Fuente: (Askeland, 2004)

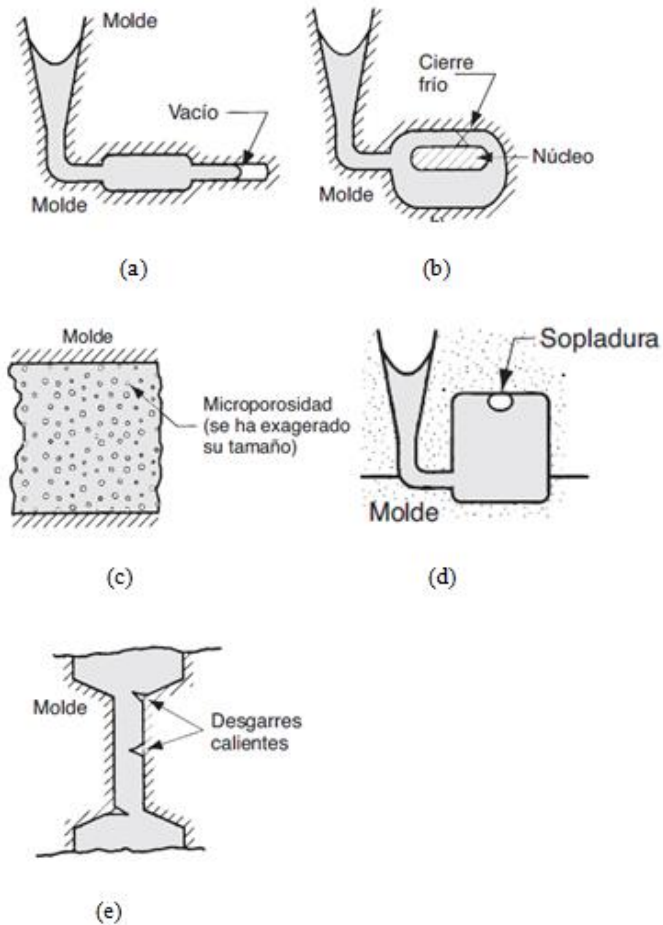
**D. Microporosidad:** se presenta cuando el metal líquido se solidifica y se contrae en las dendritas y entre sus ramas (ver Figura 12.c). Se puede controlar este defecto usando altas velocidades de enfriamiento. Este defecto se presenta principalmente en las aleaciones, por la forma prolongada en que ocurre la solidificación.

**E. Sopladuras o porosidad por gas:** muchos metales generan una cantidad de gases cuando están fundidos y provocan sopladuras en la pieza fundida (ver Figura 12.d). La porosidad disminuye la ductilidad y el acabado superficial de una fundición. Este defecto se puede controlar manteniendo baja la temperatura del líquido, agregando materiales que se combinen con el gas y formen un sólido, o controlando una presión baja del gas.

El hidrógeno es el gas principal responsable de la porosidad en la fundición de aluminio. Esta formación de porosidad se genera cuando el hidrógeno entra a la aleación líquida como una reacción entre el aluminio con el vapor de agua. (Stefanescu, 1988, pág. 183)

**F. Agrietamiento en caliente:** consiste en una separación del metal en un punto con alta concentración de esfuerzos, causado por la restricción del metal para contraerse (ver Figura 12.e). En los procesos de fundición con molde permanente disminuye el agrietamiento en caliente, al separar la fundición del molde inmediatamente después de la solidificación.





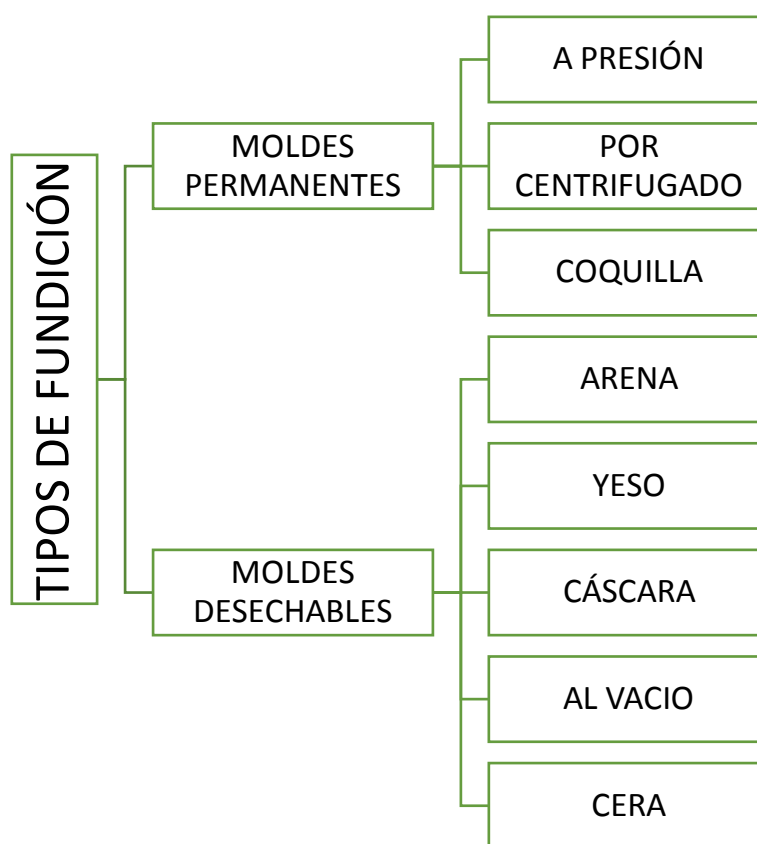
**Figura 12.** Defectos de solidificación

Fuente: (Groover, 2007)

#### 2.1.4. Tipos de procesos de fundición

Aun cuando la fundición se la puede emplear para cualquier tipo de metal sea este ferroso o no ferroso, existen diferentes métodos que se han desarrollado en base a las necesidades intrínsecas propias de las características químicas y físicas de los metales para satisfacer sus requisitos estructurales. De esta forma existen dos grupos de tipos de moldes que se emplea en la fundición, estos son los moldes desechables y los moldes permanentes. En la Tabla 2 se describe cada método con sus diferentes ventajas sobre otros según sus aplicaciones respectivas.

Dentro de los tipos de moldes permanentes pueden ser a presión, centrifugado y coquilla. Los moldes a presión necesitan poseer un sistema hidráulico o neumático que genere la presión necesaria para que produzca el vaciado en el molde, mientras que el molde centrifugado necesita una maquina rotativa que entregue la fuerza centrífuga indispensable para el llenado del molde respectivamente, razón por la cual estos tipos de fundición no se adaptan a los requerimientos y disponibilidad de equipos en el Laboratorio de Ciencia de Materiales. Para nuestro proyecto se implementará la fundición en una coquilla o molde metálico permanente, vaciado por gravedad, donde solo está presente la acción del peso del metal para el llenado de las cavidades. A continuación en la Figura 13 se muestran los tipos de fundición de acuerdo al tipo de molde:



*Figura 13.* Tipos de fundición

**Tabla 2***Resumen de procesos de fundición*

Proceso	Ventajas	Limitaciones
En arena	Casi cualquier metal fundido; sin límite en el tamaño, forma o peso de la parte; bajo costo del herramental.	Se requiere algún acabado; acabado superficial relativamente grueso; tolerancias amplias.
Molde en cáscara	Buena precisión dimensional y acabado superficial; alta capacidad de producción.	Tamaño limitado de la pieza; modelos y equipos costosos.
Modelo evaporativo	La mayoría de los metales fundidos, sin límite de tamaño; partes de formas complejas.	Los modelos tienen baja resistencia y pueden ser costosos para pequeñas cantidades.
Molde de yeso	Partes de formas intrincadas; buena tolerancia dimensional y acabado superficial; baja porosidad.	Limitado a metales no ferrosos; límite al tamaño de la parte y al volumen de producción; tiempo relativamente largo para fabricar el molde.
Molde cerámico	Partes de formas intrincadas; partes con tolerancias cerradas; buen acabado superficial.	Tamaño limitado de la parte.
Por revestimiento	Partes de formas intrincadas; excelente acabado superficial y precisión; casi cualquier metal fundido.	Partes de tamaño limitado; modelos, moldes y mano de obra costosos.
Molde permanente	Buen acabado superficial y tolerancia dimensional; baja porosidad; alta capacidad de producción.	Alto costo del molde; partes de tamaño y complejidad limitados; no es adecuado para metales con alto punto de fusión.
A presión en matriz	Excelente precisión dimensional y acabado superficial; alta capacidad de producción.	Alto costo de la matriz; partes de tamaño limitado; generalmente limitado a metales no ferrosos; largo tiempo de entrega.
Centrífuga	Grandes partes cilíndricas o tubulares con buena calidad; alta capacidad de producción.	Equipo costoso; partes de forma limitada.

Fuente: (Kalpakjian, 2008)

### 2.1.4.1. Fundición en molde metálico permanente

Se fabrican con metales que se caracterizan por tener una resistencia permanente a temperaturas elevadas. Se denominan permanentes porque permite utilizar en repetidas ocasiones el molde y presenta un diseño que facilita retirar la pieza fundida.

La fundición en molde metálico permanente también conocido como coquilla, está diseñado mediante dos secciones para cerrar y abrir con exactitud y facilidad, entregando productos con un buen acabado superficial. Se emplea para fundir metales tales como aluminio, magnesio, aleaciones de aluminio, aleaciones de cobre y hierro fundido, generalmente de bajo punto de fusión. Las piezas obtenidas mediante este proceso presentan una estructura de grano más fino y tienen mayor resistencia que las piezas fundidas en arena. Las limitaciones son el alto costo de fabricación del molde y la producción de formas más simples en comparación con el molde de arena. En la Tabla 3 se muestra las características generales que presenta la fundición en un molde permanente.

**Tabla 3***Características del molde permanente*

□	Molde permanente
Materiales fundidos comúnmente	Todos
Peso (kg):	
Mínimo	0.1
Máximo	300
Tipo de acabado superficial	
( $R_a$ en $\mu\text{m}$ )	2-6
Porosidad <sup>1</sup>	2-3
Complejidad de forma <sup>1</sup>	2-3
Precisión dimensional <sup>1</sup>	1
Espesor sección (mm):	
Mínimo	2
Máximo	50
Tipo de tolerancia dimensional (mm/mm)	$\pm 0.015$
Costo <sup>1,2</sup>	
Equipo	2
Modelo/matriz	2
Mano de obra	3
Tiempo típico de entrega <sup>2</sup>	Semanas
Capacidad típica de producción <sup>2</sup> (partes/molde-hora)	5-50
Cantidad mínima <sup>2</sup>	1000

Fuente: (Kalpakjian, 2008)

El costo se adapta para producciones en serie de alto volumen. El proceso de fundición a través del empleo del molde metálico es muy rentable ya que se pueden obtener cientos de piezas, al usar de manera repetitiva el molde, de esta manera se compensa el costo de fabricación del molde. En el presente proyecto la cantidad de piezas fundidas serán de acuerdo a la capacidad del horno de crisol del Laboratorio de Ciencia de Materiales, dimensiones y formas de los semiproductos requeridos en el Laboratorio de Manufactura I.

“A diferencia de los moldes desechables, los permanentes no se colapsan, por lo que deben abrirse antes de que ocurra una contracción apreciable por el enfriamiento a fin de impedir la formación de grietas en el fundido”. (Groover, 2007, pág. 227)

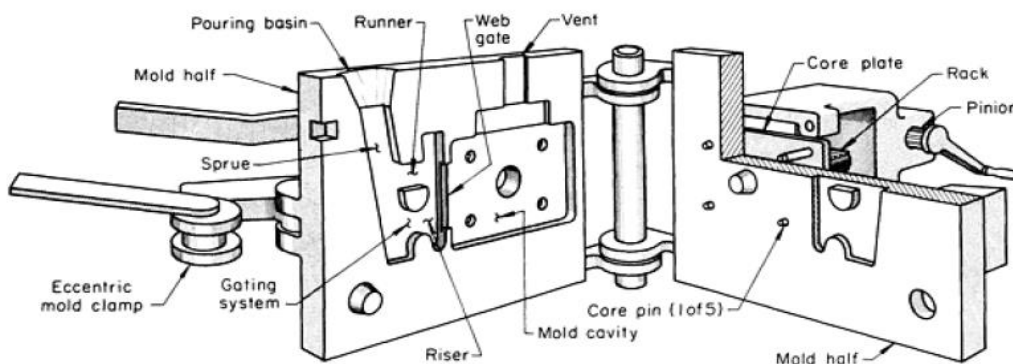
Los factores que influyen para la selección del material del molde son los siguientes:

- Temperatura del metal fundido al momento de ser vertido.
- Cantidad de piezas a fundir.
- Tenacidad y resistencia a la compresión
- Desgaste y resistencia a la corrosión

### A. Criterios generales de diseño de moldes permanentes

Como se habló anteriormente existe una gran cantidad de metales que pueden ser moldeados a través del empleo de moldes permanentes, considerando tamaños y formas, número de piezas requeridas, que son factores importantes para la selección de un apropiado diseño de molde.

En la Figura 14 se puede observar un molde permanente simple de separación vertical y en un solo plano, el cual se encuentra articulado a través de una bisagra para abrir y cerrar las dos mitades del molde, en la cavidad formada tras el cierre se vierte la colada en el sistema de alimentación, hasta llenar el molde en su totalidad, una vez que el metal se ha solidificado, se abre el molde y se retira el semiproducto obtenido.



**Figura 14.** Molde Metálico con cierre

Fuente: (Stefanescu, 1988)

Existen varios parámetros que se deben considerar al diseñar un molde metálico para garantizar una mejor vida útil y prevenir posibles inconvenientes en el moldeo que se necesita, a continuación se describen los siguientes:

- a) **Cavidades del molde:** las cavidades del molde se forman por la unión de las dos mitades del molde, son mecanizados obteniendo un buen acabado superficial, logrando obtener una pieza limpia y con una superficie lisa. Por su empleo continuo se forma la aparición de rebabas, que son residuos de escoria de la fundición.
- b) **Sistema de alimentación:** es la vía de alimentación que abastece a todas las cavidades del molde.
- c) **Sistema de evacuación del aire:** para prevenir la acumulación de gases que son los principales constituyentes para la formación de porosidad, se diseñan unos respiraderos que son perforaciones que ayudan a emanar los gases.
- d) **Mecanismo de cierre:** permite unir las dos mitades del molde, encajando las dos partes para que el molde cierre perfectamente para evitar la formación de excentricidades entre las dos mitades.
- e) **Expulsores:** conocidos también como botadores permiten empujar el semiproducto obtenido, son pequeños orificios situados en las paredes de los moldes además también sirven para emanar los gases.
- f) **Guías:** sirven para centrar las dos mitades del molde con el fin de evitar que se forme una pieza excéntrica, están formadas por un macho y una hembra que se acoplan perfectamente.
- g) **Mazarotas:** la misión de la mazarota en el molde es de abastecer de colada a las cavidades del molde para compensar la contracción en la fundición, su solidificación es la última en formarse.

La temperatura que se tiene en el molde también es un factor que se debe considerar en el diseño, ya que siempre va a estar sometido a la temperatura de vertido de la colada, los diferentes parámetros a considerar son los siguientes:

- Temperatura de vertido: cuanto mayor sea la temperatura de vertido, mayor será la temperatura del molde.
- Frecuencia de ciclo: cuanto más rápido es el ciclo de funcionamiento, más caliente es el molde.
- Precalentamiento del molde: esto se hace a temperatura de funcionamiento con una llama de gas o calentadores eléctricos, y aumenta en gran medida la vida útil del molde. El choque térmico es una de las principales causas de fallo del molde.
- Peso de fundición: la temperatura del molde aumenta a medida que aumenta el peso del metal fundido.
- Grosor de la pared de colada: la temperatura del molde aumenta a medida que aumenta el grosor de la pared de la colada.
- Espesor de la pared del molde: la temperatura del molde disminuye a medida que aumenta el espesor de la pared.
- Espesor del recubrimiento: la temperatura del molde disminuye a medida que el espesor del recubrimiento aumenta.

## **B. Materiales para el molde metálico**

“En la fundición en molde permanente, se fabrican dos mitades de un molde con materiales de alta resistencia a la erosión y a la fatiga térmica, como el hierro fundido, acero, latón, grafito o aleaciones metálicas refractarias”. (Kalpakjian, 2008, pág. 303)

Los factores que influyen para la selección del material del molde son los siguientes:

- Temperatura del metal fundido al momento de ser vertido
- Cantidad y tamaño de las piezas a fundir
- Tenacidad y resistencia a la compresión
- Desgaste y resistencia a la corrosión
- Costo del material de fabricación del molde

En la Tabla 4, se tiene varias alternativas para seleccionar el material adecuado para la fabricación del molde metálico.

**Tabla 4***Materiales recomendados para moldes permanentes*

Casting alloy	Number of pours		
	1000	10,000	100,000
For small castings (25 mm, or 1 in., maximum dimension)			
Zinc	Gray iron; 1020 steel	Gray iron; 1020 steel	Gray iron; 1020 steel
Aluminum, magnesium	Gray iron; 1020 steel	Gray iron; 1020 steel	Gray iron with AISI H14 inserts; 1020 steel
Copper	Gray iron	Gray iron	Alloy cast iron
Gray iron	Gray iron <sup>(0)</sup>	Gray iron <sup>(0)</sup>	Quantity not poured
For medium and large-size castings (up to 915 mm, or 36 in., maximum dimension)			
Zinc	Gray iron; AISI H11 <sup>(0)</sup>	Gray iron; AISI H11 <sup>(0)</sup>	Gray iron; AISI H11 <sup>(0)</sup>
Aluminum, magnesium	Gray iron	Gray iron	Gray iron; AISI H11 or H14 <sup>(0)</sup>
Copper	Alloy cast iron	Alloy cast iron	Alloy cast iron <sup>(0)</sup>
Gray iron	Gray iron <sup>(0)</sup>	Gray iron <sup>(0)</sup>	Quantity not poured

Fuente: (Stefanescu, 1988)

Si la cantidad de semiproductos fuese para una producción industrial en serie se recomendaría el acero para trabajo en caliente AISI H11, sin embargo, el presente proyecto tiene como finalidad producir un bajo número de probetas por semestre que serán mecanizadas en el Laboratorio de Manufactura I. La fundición gris tiene como inconveniente su disponibilidad en el mercado y la presencia de defectos por el tipo de fundición que se realiza en el país. El acero A36 es la alternativa para la construcción del molde, por su disponibilidad en el mercado, fácil mecanizado, bajo costo y características de resistencia aplicables al presente proyecto. Para la construcción del molde metálico en el presente proyecto se tomará en cuenta las propiedades que se especifican en la Tabla 5.



**Tabla 5***Propiedades de materiales para fabricar la coquilla*

<b>Material</b>	<b>Densidad g/cm<sup>3</sup></b>	<b>Punto de fusión ° C</b>	<b>Cond. térmica W/m-K</b>	<b>Expansión térmica 10<sup>-6</sup> K<sup>-1</sup></b>	<b>Calor especifico J /kg -K</b>	<b>Costo \$ / kg</b>
Fundición Gris ASTM 30	7.2	1180	46	11	420	7
Acero A36	7.85	1538	32	12	465	2
Acero W302	7.64	1500	27.7	12.9	550	18.5

Existen recubrimientos de películas a base de lubricantes, y cerámicos que sirven para proteger la superficie de las cavidades del molde para prevenir la formación de óxidos y evitar posibles deformaciones producidas por las elevadas temperaturas en fundiciones de aleaciones a base aluminio.

#### **2.1.4.2. Fundición por gravedad**

En este proceso está presente la acción del peso del metal por tal razón se denomina fundición por gravedad. Consiste en fabricar piezas fundidas a partir de un molde metálico permanente.

Es un proceso que se generaliza para fundiciones de aluminio, debido al costo relativamente alto de componentes y del mismo molde, el proceso se aplica para producir una cantidad de piezas en serie con calidad óptima y procesos continuos debido al tipo de molde que se emplea.

Los moldes usados en este proceso se fabrican con aceros aleados, se pueden usar tratamientos térmicos para producciones largas y aceros inoxidable resistentes a la corrosión, permitiendo obtener piezas con tolerancias dimensionales ajustadas.

## **A. Ventajas**

Dentro del proceso de fundición por gravedad se tiene algunas ventajas, las mismas que se describen a continuación:

- Por la facilidad que representa el vaciado y llenado del molde, se lo considera como un proceso versátil para la fabricación de productos.
- Se puede realizar fundiciones para obtener semiproductos sin la necesidad de implementar otros procesos de mecanizado.
- Existe libertad para producir diferentes productos en términos de diseño y calidad.

## **B. Desventajas**

Existen algunas desventajas que limitan el uso de este tipo de proceso de fundición por gravedad, citando los siguientes:

- El vertimiento de la colada debe ser inmediato para evitar el llenado incompleto o la formación de una junta fría.
- Costo elevado de la fabricación del molde
- Limitaciones en los tamaños de las piezas
- No es un proceso adecuado para metales con un alto punto de fusión
- No permite fabricar productos que presentan formas complejas

## **C. Aplicaciones**

La fundición por gravedad es un proceso relativamente bajo en costo en comparación con otros procesos ya que se tiene un molde que puede ser utilizado por varias ocasiones devengando así el costo de fabricación que este tiene, sin presentar daños en su estructura, se destacan las siguientes aplicaciones:

- Componentes del sector automotriz y aeronáutico como repuestos y accesorios, siendo un gran porcentaje en peso de componentes fundidos.
- Dentro del campo de las telecomunicaciones también existe fabricación de elementos de fundición.

### **2.1.5. Metales para fundición**

En el proceso de fundición existen dos grandes grupos para fabricar productos mediante aleaciones forjadas aplicadas a la producción de lingotes y aleaciones fundidas para la elaboración de productos con formas específicas.

Para el presente proyecto se usará el proceso de aleaciones fundidas, que tienen una estructura que no admite deformaciones, por tal razón se funden directamente en la forma final del producto a fabricarse. La cantidad de productos fabricados ha disminuido pero su valor aumentado por factores como la complejidad y la calidad.

Las aleaciones ferrosas en la actualidad representan el mayor tonelaje en comparación con las no ferrosas. Las familias de los materiales ferrosos de acuerdo al sistema hierro-carbono son: aceros fundidos, hierros fundidos blancos, hierro maleable, hierro gris, hierro nodular.

Las aleaciones no ferrosas, se clasifican respecto al punto de fusión, pueden ser con base de estaño, con base de plomo, con base de zinc, con base de aluminio, con base de cobre. De acuerdo a la necesidad de los semiproductos en la asignatura de Procesos de Manufactura I, para el presente proyecto se usarán aleaciones con base de aluminio. En la Tabla *I* se muestran las propiedades mecánicas que poseen las diversas aleaciones tanto ferrosas como no ferrosas.

#### **2.1.5.1. Aleaciones de aluminio**

El aluminio está formado principalmente por la mezcla de bauxita ( $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-H}_2\text{O}$ ) que es un óxido de aluminio hidratado y otros óxidos. Para obtener el aluminio a partir de la bauxita se siguen los siguientes pasos:

- Obtención de polvos finos
- Proceso Bayer, consiste en transformar la bauxita en alúmina pura ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ )
- Se realiza una electrólisis que separa a la alúmina y el oxígeno

El aluminio presenta las siguientes características físicas, mecánicas y químicas:

**A. Características físicas**

- Posee  $2.7 \text{ g/cm}^3$  de densidad
- Su punto de fusión es de  $660 \text{ }^\circ\text{C}$
- Resiste a la corrosión
- Excelente conductor de la electricidad y del calor

**B. Características mecánicas**

- Posee una excelente maleabilidad
- Es un material dúctil
- Permite la formación de aleaciones con otros metales para mejorar sus propiedades mecánicas
- Permite la soldabilidad
- Es un material que permite la extrusión
- Su mecanizado es sencillo

**C. Características químicas**

- Posee características anfóteras, siendo esta la propiedad de poder disolverse en ácidos y en bases.
- Forma citratos de aluminio cuando se disuelve con ácidos cítricos

Las aleaciones de aluminio poseen excelentes propiedades como son la resistencia mecánica, resistencia a la corrosión, conductividad térmica y eléctrica, antitoxicidad, alta ductilidad y fácil maquinabilidad lo que permite obtener cualquier forma deseada, con un bajo peso, es un material de gran utilidad a nivel aeronáutico, automotriz, latas de bebidas, construcción, electricidad, entre otros, en estado puro el aluminio posee una resistencia muy baja, una forma para mejorar esta resistencia es mediante aleaciones que puede tener con otros metales.

Las aleaciones de aluminio utilizan hornos que posean gran poder calórico por esta razón disuelven intensamente los gases como el hidrógeno, lo que genera la aparición de porosidades en la fundición. Existen dos tipos de aleaciones de aluminio fundido que permiten mejorar su resistencia a través de dos procesos, la una es el endurecimiento mediante trabajo en frío y la segunda mediante tratamiento térmico.

Las aleaciones de aluminio poseen un sistema de nomenclatura, tienen un código numérico formado por cuatro dígitos, este sistema se divide en dos partes, una para aleaciones forjadas y otra para aleaciones fundidas. Se considerará la nomenclatura prevista para aleaciones de aluminio fundido porque forma parte del presente proyecto. Como se observa en la Tabla 6, por ejemplo la nomenclatura 1XX.X correspondiente al código de fundición se tiene, el primer dígito representa al grupo principal al que la aleación pertenece, el segundo y tercer dígito corresponde al porcentaje mínimo de aluminio que contiene la aleación, y el cuarto dígito representa la forma del producto que tiene la aleación.

**Tabla 6**

*Nomenclatura de aleaciones de aluminio forjado y fundido*

Grupo de aleación	Código para forjado	Código para fundido
Aluminio, pureza de 99.0% o mayor	1XXX	1XX.X
Aleaciones de aluminio, por elemento(s) principal(es)		
Cobre	2XXX	2XX.X
Manganeso	3XXX	
Silicio + cobre o magnesio		3XX.X
Silicio	4XXX	4XX.X
Magnesio	5XXX	5XX.X
Magnesio y silicio	6XXX	
Zinc	7XXX	7XX.X
Estaño		8XX.X
Otros	8XXX	9XX.X

Fuente: (Groover, 2007)

Mientras que para los tratamientos térmicos de las aleaciones se las designa con los siguientes literales:

- F: trabajo en frío o en caliente, o por fundición
- O: recocido

- H: endurecido por deformación por trabajo en frío
- T: tratamiento térmico
- W: tratado con soluciones

A continuación se muestra una selección de aleaciones de aluminio (ver Tabla 7) para fundición con su composición química y propiedades mecánicas. El silicio es uno de los elementos más importantes en las aleaciones de aluminio, ya que aumenta la fluidez del metal fundido. El magnesio y el cobre incrementan la resistencia, de igual manera lo hacen otros elementos.

**Tabla 7**

*Propiedades mecánicas del aluminio y sus aleaciones*

Material	Resistencia a la tensión (psi)	Resistencia de cedencia (psi)	% de elongación	Relación de la resistencia de cedencia de la aleación del metal puro
Aluminio puro	6,500	2,500	60	1
Aluminio puro comercial (por lo menos 99% puro)	13,000	5,000	45	2.0
Aleación de aluminio endurecida por solución sólida	16,000	6,000	35	2.4
Aluminio trabajado en frío	24,000	22,000	15	8.8
Aleación de aluminio endurecida por dispersión	42,000	22,000	35	8.8
Aleación de aluminio endurecida por envejecimiento	83,000	73,000	11	29.2

Fuente: (Askeland, 2004)

Existen diferentes tipos de aleaciones con base de aluminio que son de mucha importancia en diversas aplicaciones. A continuación se cita las siguientes:

- **Aluminio-Magnesio:** en este tipo de aleaciones el magnesio se encuentra en un porcentaje mayor al 4%, presenta una alta resistencia mecánica y a la corrosión, poseen una baja densidad, sin embargo, no es de las mejores aleaciones ya que presenta una baja fluidez y alta contracción.

- **Aluminio-Silicio:** el contenido de silicio se encuentra por encima del 5%, se pueden obtener mejores propiedades físicas como es una elevada fluidez, ya que presenta una composición eutéctica que debe ser refinada en muchos casos a través de un tercer elemento.
- **Aluminio – cobre:** este tipo de aleaciones se caracteriza por poseer propiedades de fundición disminuidas, y altas propiedades mecánicas como son la resistencia y la ductilidad, este tipo de aleaciones se emplean en el campo aeronáutico.

Dentro de las aleaciones con base de aluminio, existen diversos elementos aleantes que mejoran las características mecánicas de las aleaciones, los principales son los siguientes:

- **Cobre:** aumenta las propiedades mecánicas, sin embargo, su resistencia a la corrosión se ve disminuida.
- **Magnesio:** a la aleación resultante se le somete a un proceso de conformado en frío, lo que beneficia para tener una alta resistencia mecánica.
- **Titanio:** tiene la propiedad de aumentar la resistencia mecánica en la aleación.
- **Cromo:** cuando se lo combina con otros elementos como son el Cu, Mg o el Mn, aumenta la resistencia mecánica.
- **Silicio:** al ser combinado con el magnesio, su resistencia mecánica es mayor.
- **Manganeso:** una desventaja de este tipo de combinación se da en la reducida calidad en el proceso de embutición al que puede ser sometido, sin embargo aumenta las propiedades mecánicas.
- **Hierro:** la resistencia mecánica se incrementa, al tener este tipo de aleación.
- **Zinc:** presenta una desventaja al reducir la resistencia a la corrosión.

#### **D. Ventajas de las aleaciones de aluminio**

Al momento de seleccionar al aluminio como material base para las aleaciones se considera que las ventajas dominen las limitaciones o desventajas en cualquier tipo de aplicación. Algunas de las ventajas más importantes se señalan a continuación:

- Las propiedades mecánicas como la dureza y resistencia se ven mejoradas cuando se altera su composición química al ser combinados con diferentes aleantes.

- Tiene un aspecto decorativo muy llamativo, y es empleado en gran medida para los marcos para vitrales, pasamanos, y perfiles en general.
- Es un material que resiste a la corrosión, siendo su principal uso en partes de motores y para la conservación de alimentos enlatados.
- La fundición de aluminio no presenta toxicidad, razón por la cual se la emplea en la industria alimenticia, como también en la fabricación de utensilios de cocina.
- Tiene gran facilidad de mecanizado, al adoptar formas complejas por medio de diversos procesos de manufactura.
- Presenta una alta conductividad eléctrica, razón por la cual se la emplea en la fabricación de barras de rotores en los motores de inducción.

#### **E. Desventajas de las aleaciones de aluminio**

Por otra parte existen limitaciones que se presentan en las aleaciones de aluminio, siendo algunas las siguientes:

- Presenta una baja resistencia al desgaste y a la abrasión
- No se puede obtener un tipo de aleación de aluminio que combine una alta resistencia a la tracción y dureza.
- Posee una baja resistencia a la corrosión severa generada cuando es sometida a factores muy extremos.

#### **2.1.5.2. Procesos de moldeo para el aluminio**

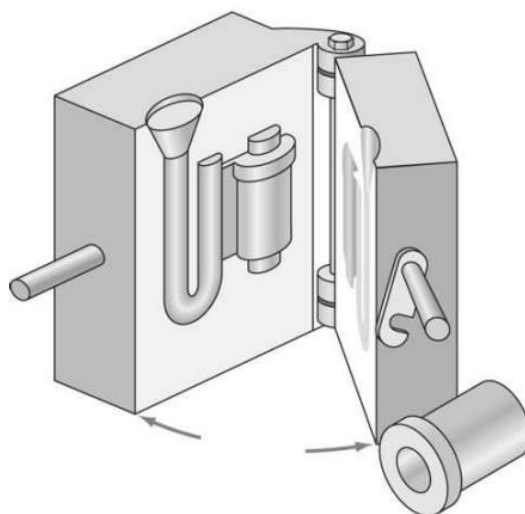
Las aleaciones de aluminio frecuentemente son moldeadas por algunos de estos procesos: moldeo en arena, moldeo permanente y moldeo en matrices. Para el proyecto de acuerdo a los equipos disponibles en el laboratorio de Ciencia de Materiales, la capacidad del horno, y por el costo del proceso, se usará un moldeo permanente y el vaciado será por gravedad.

En el vaciado en un molde permanente (ver Figura 15), el metal fundido se vierte por gravedad, baja presión o presión centrifuga por ejemplo en la Figura 16 se muestra el vaciado de una aleación de aluminio por gravedad en un molde metálico. El vaciado de aluminio en un molde permanente



produce una pieza con una estructura de grano más fina y mayor resistencia que los vaciados hechos en moldes de arena. (Smith, 2006, pág. 67)

La velocidad de enfriamiento más rápida del fundido en los moldes permanentes produce una estructura de grano más fino. Además, la fundición en molde permanente suele tener menor contracción y porosidad producida por gases que en la fundición en arena. Sin embargo, los moldes permanentes tienen limitaciones de tamaño y las piezas complejas pueden ser difíciles de vaciar utilizando un molde permanente. (Smith, 2006, pág. 67)



**Figura 15.** Molde permanente o coquilla para fundición

Fuente: (Smith, 2006)



**Figura 16.** Vaciado por gravedad en una coquilla

Fuente: (<http://www.fundicioneszabala.com/es/home/>)

### **2.1.5.3. Colabilidad y fluidez del aluminio**

La colabilidad se presenta como una habilidad propia del material para ser colada mediante un determinado proceso de fundición para alcanzar una forma específica.

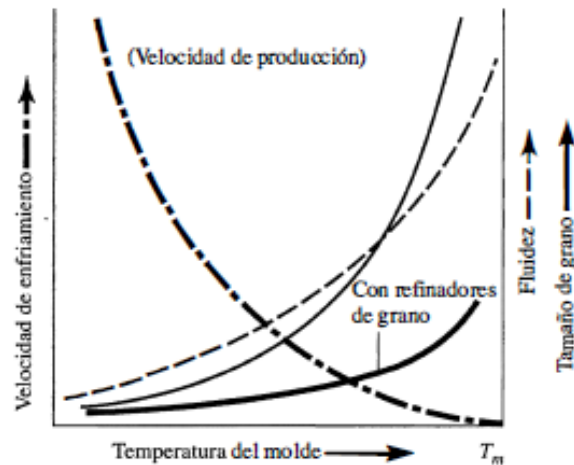
La colabilidad de las aleaciones se encuentra influenciada por algunos parámetros metalúrgicos como por ejemplo la composición química del metal fundido, temperatura en la colada, material del molde, el sistema de alimentación y la temperatura del molde, además presenta una relación creciente con la densidad y el calor latente del metal fundido, y una relación decreciente en base a la conductividad del molde y la variación de temperatura entre el molde y el metal fundido.

La fluidez es la distancia que el metal fundido logra obtener en un determinado molde antes de alcanzar la solidificación, un ejemplo para determinar la fluidez de una aleación es el ensayo en el espiral de Curry, siendo este un conducto en forma de espiral por donde circula el metal fundido hasta alcanzar la solidificación, donde mientras mayor sea la longitud del metal solidificado, mayor será la fluidez

Uno de los factores más importantes que afectan a la fluidez es la composición química, por ejemplo, la fluidez del aluminio se ve reducida cuando disminuye la pureza cuando existen combinaciones con otros aleantes. Las aleaciones que presentan un valor elevado en la solidificación tienen una baja fluidez.

Debido al empleo de un molde metálico para nuestro proyecto se espera obtener una solidificación rápida lo que permitiría conseguir una colabilidad buena y fluidez alta. En la Figura 17 se muestra como se ve afectada la fluidez a través de varios factores principales que a continuación se describen:

- La fluidez aumenta cuando se incrementa el sobrecalentamiento, bajando la viscosidad del metal fundido y a la vez retrasando la solidificación, sin embargo, se debe tener cuidado ya que un sobrecalentamiento excesivo puede provocar el crecimiento en el tamaño de grano.
- Elevando la temperatura en el molde se retrasa la solidificación aumentando la fluidez, mientras que es perjudicial porque se obtiene una velocidad de enfriamiento lenta formando un grano más grueso.
- El material con el cual está fabricado el molde también afecta en la fluidez ya que este influye en el calor que existe en la superficie del molde.



**Figura 17.** Factores que intervienen en la fluidez

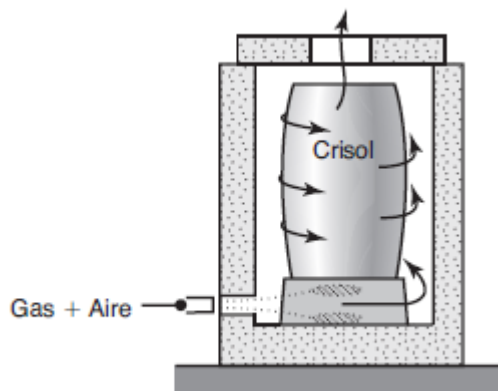
Fuente: (Schey, 2002)

## 2.2. Horno de crisol

Una de las aplicaciones de un horno de fundición es reutilizar la chatarra producida por los desechos generados en distintos procesos de manufactura, para crear fundiciones metálicas de materiales ferrosos o no ferrosos. Existen varios tipos de hornos que varían en su tamaño, capacidad y forma, uno en especial que se lo ha utilizado a lo largo de la historia es el horno de crisol.

El horno de crisol es utilizado para fundir materiales no ferrosos, su estructura está hecha de silicio o grafito, el crisol se encuentra dentro de una cámara de combustión hecha de materiales refractarios en donde se distribuye el calor generado por el quemador de forma uniforme (ver Figura 18).

Los hornos de crisol se emplean fundamentalmente en la fusión de aluminio, cobre, zinc y magnesio. Se calientan empleando combustibles como el gas natural o el gasóleo. La combustión de estos productos produce llamas que rodean el crisol, calentándolo. Existen hornos de crisol de foso o basculantes con capacidad entre 50 y 100 [kg]. (Montes, 2006, pág. 156)



**Figura 18.** Horno de fundición de crisol

Fuente: (Kalpakjian, 2008)

Los hornos de crisol pueden ser:

- Hornos de pozo
- Hornos de espera
- Hornos de crisol inmerso
- Horno rotativo de crisol
- Hornos basculante

Los hornos basculantes son móviles y poseen un sistema de apoyo que permite generar una inclinación para verter la colada fundida en los moldes metálicos, generalmente se lo emplea cuando existe una producción grande de una aleación para un trabajo específico. En nuestro caso este tipo de horno de crisol se encuentra en el Laboratorio de Ciencia de los Materiales el mismo que será sometido a un rediseño en su sistema de basculación para mejorar su funcionamiento y dar mayor versatilidad en su uso.

Existen diferentes tipos de calentamiento a los que serán sometidos los hornos de crisol, dependiendo de la calidad en la fundición, la eficiencia energética que consume el horno y la productividad que este demanda, de esta manera se pueden usar hornos por calentamiento eléctrico y de combustible.

- **Hornos por calentamiento eléctrico:** su principal ventaja es la calidad en la fundición y la eficiencia energética que posee, siendo los hornos de fusión los que mayor demanda tienen a nivel de producción industrial, además no contaminan la fundición con los gases producidos debido al calentamiento por combustibles.
- **Hornos por calentamiento a través de combustibles:** este tipo de hornos que son calentados por medio de combustibles fósiles deben poseer un adecuado sistema de extracción de gases a través de la chimenea o conductos de salida, con el fin de no contaminar la fundición presente en el crisol. En general los combustibles que más se utilizan en este tipo de hornos se indican en la Tabla 8.

**Tabla 8**

*Tipos de combustibles usados en los hornos de crisol*

Combustible	Tipo	Poder Calorífico (Kcal/Kg)
Sólido	Leña	3800
	Carbón mineral	4000 a 6000
	Coque de fundición	6200 a 7500
	Coque de petróleo	8000
	Carbón vegetal	6500 a 7000
Líquido	Gasolina	10200
	Petróleo diesel	11000 Kcal/litro
	Alcohol etílico	7300
	Querosene	11600
	Petróleo - Fuel-Oil - OC4	10000
Gaseoso	Gas licuado	10900
	Gas de coque	4500
	Gas natural	10000
	Metano	8500

Fuente: (<https://es.slideshare.net/JorgeCastilloCobeas/horno-basculante>)

### 2.3. Sistema de extracción de gases

La extracción de gases, polvos y vapores generados por un proceso de fundición debe ser controlada para permitir un adecuado ambiente de trabajo previniendo la contaminación y de esta manera evitar enfermedades respiratorias.

#### 2.3.1. Gases generados por la fundición

Durante las fases en el proceso de fundición se generan algunos gases productos de la combustión que se realiza, generando polvos y residuos de materia, muchos con diferentes niveles de óxidos metálicos y minerales, así como metales en forma de partículas que se liberan al medio ambiente.

La emisión de gases varía dependiendo el tipo de horno que se utilice en el proceso de fundición, el combustible, los materiales a fundir y las propiedades de fusión de los mismos. Teniendo en

cuenta estos aspectos los hornos de cubilote son los que generan mayor contaminación debido al volumen de materia que funden, principalmente en la industria que es la mayor fuente de aplicación para este tipo de hornos. Mientras que los hornos de inducción son los que generan menos emisiones de contaminantes.

Existen varias recomendaciones para controlar la emisividad de partículas gaseosas que contaminen el medio ambiente producto de la fundición, a continuación se citan algunas técnicas:

- Usar depuradores en los conductos de los sistemas de extracción de gases.
- Usar sistemas de aspiración y proveer una limpieza de los mismos.
- En las áreas de fundición instalar sistemas de extracción de polvos o gases generados por las chimeneas de los hornos.

Dentro de los gases generados en el proceso de fundición, los siguientes son principales contaminantes ambientales:

- Óxido de nitrógeno (NOX): se genera por la oxidación del nitrógeno debido a las altas temperaturas de los hornos, una manera para controlar esta contaminación es modificando los procesos ya sea con la utilización de quemadores catalíticos, minimizar la mezcla aire-combustible en la combustión.
- Óxido de azufre (SOX): este tipo de gases se generan principalmente en procesos que son utilizados en hornos de fusión y dependiendo del nivel de concentración de azufre presente en el combustible. Para controlar este tipo de emisiones se recomienda utilizar materia prima con bajo azufre, y gas natural como combustible.
- Monóxido de carbono (CO): se produce por la oxidación de electrodos sumado el carbón esto dentro de los hornos de cubilote, para prevenir la producción de monóxido de carbono se empleara hornos a inducción aumentando la concentración de oxígeno mediante la inyección, mejorar la eficiencia térmica en la cámara de combustión.
- Gases de efecto invernadero: la fundición es un proceso que presenta una emanación constante de dióxido de carbono en operación, principalmente producto de la combustión del combustible, una recomendación para evitar la emisión de dióxido de carbono puede ser la

sustitución de hornos tradicionales como son los de inducción, cubilotes, mejorar el consumo y elevar la eficiencia energética, también aislando correctamente la cámara de combustión para evitar la pérdida de calor por transferencia, utilizar combustibles con bajo coeficiente de contenido de carbono.

En el presente proyecto se tiene la disponibilidad de un quemador que usará como combustible el diésel, por tal razón los gases presentes producidos de la combustión entre el combustible y el oxígeno son CO, CO<sub>x</sub>, NO<sub>x</sub>.

### **2.3.2. Tipos de extracción**

La extracción de contaminantes puede ser de dos tipos general y localizada, la general se usa cuando el contaminante no puede ser controlado en la fuente, en este caso el contaminante se diluye o se desplaza del ambiente de trabajo mediante las siguientes formas:

- Natural: desde aperturas como ventanas, puertas, portones.
- Mecánica o forzada: en este sistema se introduce aire nuevo al ambiente.

Mientras que el sistema de extracción localizada tiene como función captar el contaminante en el lugar más próximo, y de esta manera evitar que se propague dentro de un área determinada. Los sistemas por extracción localizada se pueden clasificar de acuerdo a su complejidad estructural de la siguiente manera:

- Sistemas de extracción localizada sencillos o simples
- Sistemas de extracción localizada ramificados o compuestos

Con los sistemas mencionados, para el presente proyecto se usará un sistema de extracción localizada simple para captar los gases generados por el proceso de fundición.

### **2.3.3. Componentes de un sistema de extracción localizada simple**

Los componentes principales del sistema de extracción localizada son:

- A. Elemento de captación:** campana, cajón o cualquier otro elemento dispuesto para la captación del contaminante presente en el proceso.



Las campanas captan los gases mediante la absorción de aire por medio de un ventilador, para contrarrestar las corrientes presentes en la zona, proveer una adecuada velocidad de transporte de partículas. El diseño geométrico debe tener como objetivos, captar y encerrar al máximo los contaminantes del proceso y su extracción debe realizarse fuera de la zona de respiración del operario.

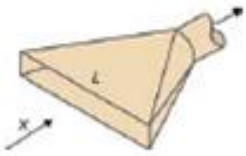
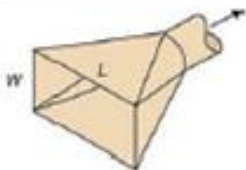
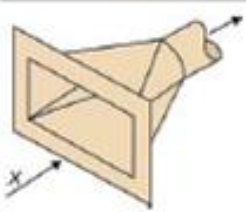
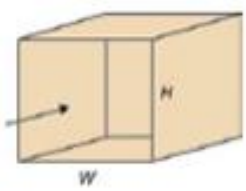
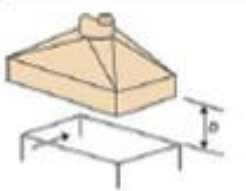
Los tipos de campanas son las siguientes:

- **Campanas de techo:** es un techo que se localiza encima del lugar de trabajo, no es recomendable cuando el material es tóxico y el operador debe inclinarse en la zona de emisión.
- **Cabinas:** es una campana que encierra total o parcialmente la zona de generación de contaminantes, por ejemplo, una cabina de laboratorio con manoplas o una cabina de pintura.
- **Campanas de rejilla lateral:** es similar a la cabina, sus dimensiones son menores, se encuentra localizada adyacente al foco de la zona de emisión de contaminantes.
- **Campanas de aire descendente:** El aire circula hacia abajo. Su empleo es limitado ya que cualquier corriente ascendente o transversal tiene un efecto adverso sobre la penetración del contaminante de las aberturas.

Los distintos tipos de campanas se muestran a continuación en la Tabla 9:

Tabla 9

## Tipos de campanas

Tipo de campana	Descripción	Razón W/L	Caudal
	Rendija	0,2 o menos	$Q = 3,7LVX$
	Abertura plana	0,2 o más y redonda	$Q = V(10X^2 + A)$ $A = \text{Superficie de la cara}$
	Abertura plana <sup>(1)</sup>	0,2 o más y redonda	$Q = 0,75V(10X^2 + A)$
	Cabina	Según trabajo	$Q = VA = VWH$
	Campana de techo	Según trabajo	$Q = 1,4 PDV$ $P = \text{Perímetro}$ $D = \text{Altura}$

<sup>(1)</sup> Anchura de las pantallas deflectoras: 10-12 cm.

Q: caudal en m<sup>3</sup>/s.

X: distancia de la boca al foco en metros.

A: superficie de la boca de la campana en metros cuadrados

Fuente: (Goberna, 1992)

**B. Elemento de conducción:** es una tubería de cualquier tipo de sección, por la cual el aire con los contaminantes circula hasta el depurador y ventilador.

**C. Elemento de aspiración:** el ventilador es un mecanismo que permite que el aire y los contaminantes circulen por la campana, el conducto y el depurador.

Los ventiladores son las máquinas más usadas para producir el movimiento del aire en la industria. Su funcionamiento se basa en la entrega de energía mecánica al aire a través de un rotor que gira a alta velocidad y que incrementa la energía cinética del fluido, que luego se transforma parcialmente en presión estática.

Un ventilador está diseñado para que opere a presiones estáticas pequeñas, de hasta 13.8 [kPa]. Las presiones comunes de operación de los ventiladores van de 0 a 1500 [Pa]. Se utilizan ventiladores para hacer circular el aire dentro de un espacio, para introducirlo o evacuarlo, o para moverlo a través de los ductos de sistemas de ventilación, calefacción o aire acondicionado. Los tipos de ventiladores incluyen ventiladores de aspas, de ductos y centrífugos. (Mott, 2006, pág. 544)

- **Ventiladores de hélice**

Los ventiladores de hélice operan a una presión estática cercana a cero, y están compuestos de dos a seis aspas con aspecto de hélice de avión. Así, llevan aire de un lado y lo descargan en otro, en una dirección aproximadamente axial. Este tipo de ventilador es popular, porque hace que el aire circule en espacios habitacionales o de trabajo, y aumenta el confort. Cuando se monta en las ventanas u otras aberturas de las paredes de un edificio, envía aire fresco del exterior del edificio hacia dentro, o expulsan el aire del interior. También se les encuentra en el techo o en azoteas.

Hay ventiladores de hélice desde tamaños pequeños hasta de 60 pulgadas o más de diámetro (que mueven más de 50 000 [pcm] a presión estática de cero). Es común que las velocidades de operación varíen de 600 a 1725 [rpm]. Estos ventiladores son impulsados por motores eléctricos, ya sea en forma directa o por medio de bandas. (Mott, 2006, pág. 544)

- **Ventiladores de ducto**

Los ventiladores de ducto tienen una construcción similar a los de hélice, excepto que en aquellos el ventilador se encuentra dentro de un ducto cilíndrico, como se observa en la Figura 19. El ducto puede ser parte de un sistema de conducción más que introduzca o extraiga el aire de un área alejada. Los ventiladores de ducto operan contra presiones estáticas de hasta 375 [Pa]. Su tamaño varía, desde pequeños hasta de 36 pulgadas (mueven más de 20 000 [pcm]). (Mott, 2006, pág. 544)



*Figura 19.* Ventilador de ducto

Fuente:( <https://juanfrancisco207.wordpress.com/2014/07/30/ventiladores/>)

- **Ventiladores centrífugos**

En estos ventiladores el aire ingresa en dirección paralela al eje del rotor, por la boca de aspiración, y la descarga se realiza tangencialmente al rotor, entonces el aire cambia de dirección a 90° (ver Figura 20).



**Figura 20.** Ventilador centrífugo

Fuente: (<https://juanfrancisco207.wordpress.com/2014/07/30/ventiladores/>)

- D. Filtro de depuración:** es un componente que permite filtrar los contaminantes de acuerdo a sus características y peligrosidad, unas veces instalados por la propia eficacia del circuito y otras por imperativo legal.
- E. Chimenea de salida:** como sistema de protección del ventilador.
- F. Válvulas y compuertas de regulación:** para sistemas con regulación de caudal mediante estos elementos.

#### **2.4. Prensa manual**

La prensa es una máquina que permite comprimir y sujetar diferentes materiales para un determinado trabajo, sea este perforado, cortado, limado o mecanizado que garantice seguridad y comodidad en una determinada operación, estas máquinas son utilizadas en talleres mecánicos de manufactura, cerrajerías, carpinterías, entre otros lugares debido a su utilidad y funcionamiento, siendo máquinas que presentan una gran robustez, su tamaño puede variar dependiendo del uso.

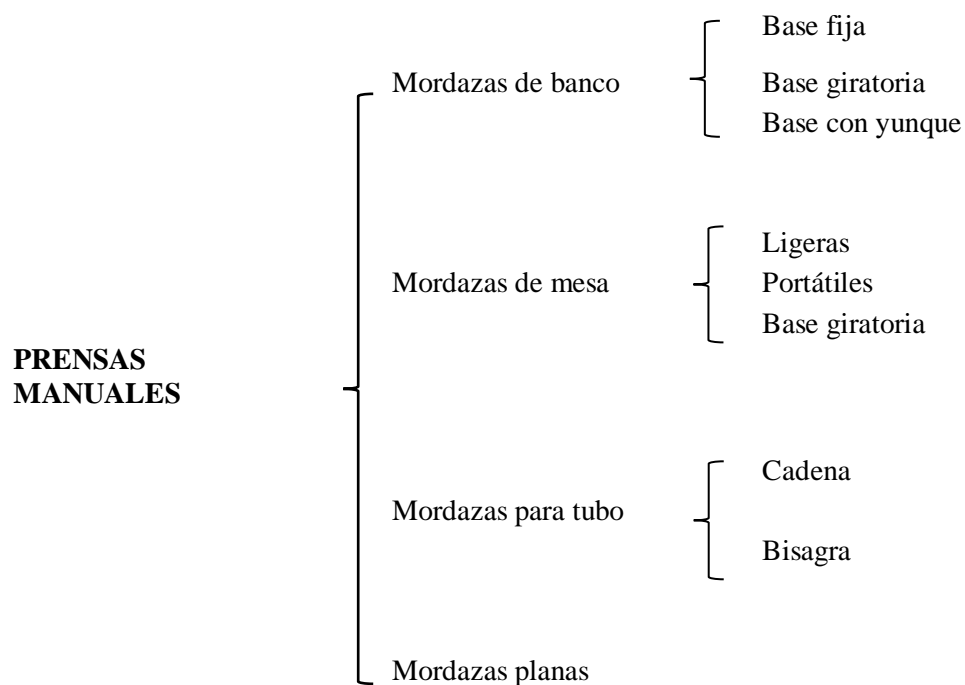
Existen diferentes tipos de prensas que se las pueden clasificar de la siguiente manera:

- A. Prensas Neumáticas:** son accionadas mediante el empleo de aire a presión. Desplaza el embolo principal según la posición y función que este tenga para conseguir una determinado trabajo, emplea principalmente válvulas que controlan el funcionamiento de alimentación del aire en general.

- B. Prensas Hidráulicas:** se emplea principalmente pistones que son impulsados generalmente por aceites o líquidos hidráulicos, generando fuerzas producto de la transformación de la energía mecánica en energía hidráulica a través de motores eléctricos.
- C. Prensas Mecánicas:** concentran gran cantidad de energía en su volante de inercia que es el principal elemento que transmite energía mecánica para realizar una determinada función, generalmente se la emplea en el uso de troqueladoras.
- D. Prensas Manuales:** es una máquina herramienta que usa la fuerza manual para ajustar, compactar, sujetar diferentes materiales sobre los cuales se va a trabajar, generalmente a este tipo de prensas se las conoce como entenalla de banco, prensa de banco, morsas. Están formadas por las siguientes partes:

- Mordazas: sostienen la pieza de trabajo fijamente.
- Husillo o manivela: permite la apertura y cierre de las mordazas.
- Base: sirve de apoyo.

Las mordazas son de dos tipos, una fija y una móvil, la mordaza móvil se desplaza a lo largo del eje roscado abriéndose o cerrándose mediante la manipulación de la manivela permitiendo que sujeten la pieza intercalada entre ambas. Las mordazas paralelas son las más utilizadas, ya que permiten siempre un cierre en paralelo en cualquier posición y para diferentes tamaños, no se necesita ejercer mucha presión para conseguir el cierre, su mantenimiento es fácil de realizarlo. Existe una gran variedad de modelos de prensas manuales de acuerdo al tipo de mordazas (ver Figura 21), que son usadas en trabajos específicos.



*Figura 21.* Prensas manuales

Considerando la funcionalidad del modelo de la mordaza plana por la sencillez en su mecanismo y por su dinámica operatividad, para el presente proyecto se consideró este modelo de mordaza ya que se adapta a nuestras necesidades de diseño en donde se requiere la apertura y cierre de las mordazas sobre las cuales se encuentran montadas las dos partes del molde metálico y a través de un eje roscado que permite el ajuste necesario para conseguir el cierre del molde, como se observa en la Figura 22.



**Figura 22.** Entenalla de banco

Fuente: (<https://www.grainger.com.mx/producto/WESTWARD-Tornillo-de-Banco-p-Carpinter%C3%ADa%2CAn-6-1-2/p/10D720>)

Este tipo de mordazas son fabricadas a base de hierro fundido o acero, para el nuestro proyecto se usará acero comercial A36, debido a su costo y disponibilidad, no se justificaría el uso de un acero de mejores propiedades por ejemplo un acero bonificado, ya que el sistema se usará como un bastidor.



## CAPÍTULO 3

### REQUERIMIENTOS Y PARÁMETROS DE DISEÑO

#### 3.1. Introducción

Existen varios requerimientos que se necesitan cumplir para la implementación de las diversas etapas de diseño en el presente proyecto, tomando en cuenta los parámetros que sirven para orientar la construcción de los componentes mecánicos que van a estar sujetos a diversas condiciones de trabajo.

Se realizará un análisis, diagnóstico y pruebas de los equipos disponibles en el Laboratorio de Ciencia de Materiales que se relacionan directamente con su implementación en el presente proyecto, a continuación se citan los siguientes:

- Horno de crisol basculante: se evaluará por su funcionamiento, la basculación y la emisividad de gases.
- Caja reductora de velocidad
- Quemador a diésel

#### 3.2. Sistema de basculación del horno

Los parámetros que se consideran para diseñar el sistema de basculación del horno son el diámetro exterior de 122 [cm], la altura de 95 [cm] y su peso que es de aproximadamente 2694 [kg].

El sistema existente de la basculación del horno, consta de dos ejes de diámetro de 30 [mm], la longitud de 68.2 [mm] y material acero comercial A36; tiene una transmisión directa de engranajes rectos con sus respectivos rodamientos, el primer eje es para el conjunto horno-corona (ver Tabla 10) y el segundo eje es para el conjunto piñón-volante (ver Tabla 11).

**Tabla 10***Dimensiones de la corona*

<b>Corona</b>	<b>Medida</b>
Diámetro exterior	18.80 ”
Paso	10
Número de dientes	35
Velocidad	0.19 [rpm]

Fuente: (Bone & Crespo, 2015)

**Tabla 11***Dimensiones del piñón*

<b>Piñón</b>	<b>Medida</b>
Diámetro exterior	3.7 ”
Paso	10
Número de dientes	186
Velocidad	1 [rpm]

Fuente: (Bone & Crespo, 2015)

El horno de crisol del Laboratorio de Ciencia de Materiales no está operando porque su sistema de basculación no es idóneo (ver Figura 23), y al evaluar el equipo se determinó lo siguiente:



**Figura 23.** Sistema de basculación del horno

- La operación del horno no es de fácil manejo, su movimiento es brusco, se requiere sostener el volante con la fuerza necesaria para equilibrar y posicionar el horno.
- La velocidad de operación no es constante, puede ser rápida o lenta, fundamentalmente al realizar la operación de vertido.
- Existe un juego en el chavetero que conecta los ejes y engranajes.
- Su centro de gravedad no está localizado correctamente, porque en su posición de equilibrio, el horno se declina aproximadamente  $50^\circ$  (ver Figura 24 ), al acoplar el quemador al horno aumenta su declinación, adicionalmente la maniobrabilidad del horno se dificulta y se necesitan de dos personas para girar el volante.
- La falta de seguridad está presente en el funcionamiento del horno, se cita la dificultad para posicionar el horno, principalmente al momento de verter el material fundido puede causar daños físicos a los estudiantes que realicen este proceso.
- No se cuenta con una estructura para colocar el recipiente de combustible a la altura requerida para el funcionamiento del quemador.



**Figura 24.** Posición de equilibrio del horno

- Existe un contacto entre la base inferior del horno y un soporte transversal, que no permite la basculación total del horno, provocando que la colada no se vacíe por completo (ver Figura 25 ).



**Figura 25.** Contacto entre el horno y el soporte transversal

### **3.2.1. Requerimientos**

El requerimiento es mejorar el sistema de basculación del horno mediante otras alternativas de sistemas mecánicos que permitan un manejo adecuado y fácil maniobrabilidad, de tal manera que la operación de basculación del horno lo realice una persona, y a una baja velocidad de giro se estima que sea 1 [rpm].

#### **A. Estudio de alternativas**

Los sistemas de readecuación para la basculación del horno pueden ser los siguientes:

- Transmisión de tornillo sin fin-corona mediante un accionamiento mecánico.
- Transmisión de tornillo sin fin-corona con un accionamiento automático mediante la implementación de una caja reductora de velocidad.

##### **a. Transmisión de tornillo sin fin-corona con accionamiento mecánico**

Las principales características del tornillo sin fin-corona son las siguientes:

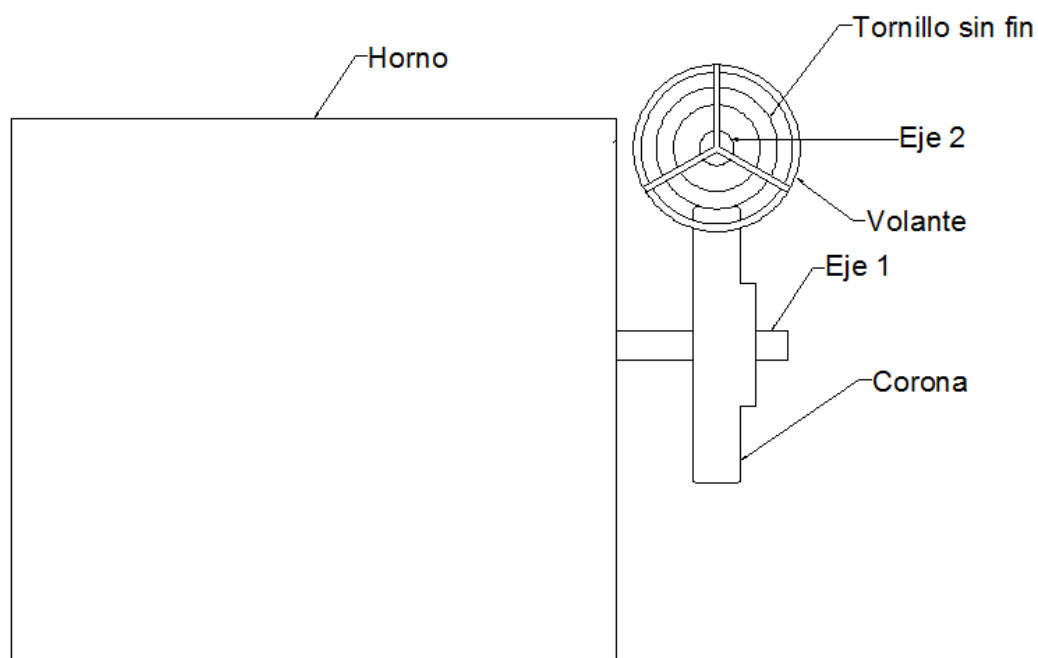
- Se diferencia del resto de engranajes porque el engranamiento ocurre sin choque, sino con una acción deslizante.
- Su funcionamiento consiste en que por cada vuelta del tornillo el engranaje gira un diente, de esta manera el sistema tiene una relación de transmisión baja.
- Los materiales que se utilizan para la fabricación de la corona y el tornillo sin fin son el bronce y el acero templado respectivamente, principalmente se utiliza esta combinación de materiales para reducir el rozamiento entre sus superficies de contacto, además se recomienda una constante lubricación para evitar los desgastes entre los dientes producidos por la fricción.

#### **Componentes**

El sistema de basculación mecánico consta de los siguientes componentes:

- Tornillo sin fin-corona
- Volante
- Chumaceras
- Eje 1-conjunto corona-horno
- Eje 2-conjunto tornillo sin fin-volante

En la Figura 26 se indican los componentes del sistema de basculación mecánico, la corona se acopla al eje de salida del horno, y el tornillo sin fin se acoplará en la parte superior de la corona, con el respectivo volante para girar el horno.



**Figura 26.** Sistema de basculación mecánico

A continuación en la Tabla 12 se presentan las ventajas y desventajas del sistema de basculación mecánico.

**Tabla 12***Sistema de basculación mecánico*

<b>Ventajas</b>	<b>Desventajas</b>
Diversidad de configuraciones en su relación de transmisión	Resistencia constante al rozamiento
Produce una velocidad de salida constante	Materiales adecuados para su fabricación
Capacidad de carga y autobloqueo, siendo un sistema irreversible	Alto costo de mecanizado
Gran capacidad de reducción en poco espacio, obteniendo una elevada ventaja mecánica	Constante lubricación, para evitar el elevado desprendimiento de calor
Su funcionamiento genera menos ruido	Su eficiencia es baja debido al rozamiento entre sus superficies de contacto entre el tornillo sin fin y la corona

**Costo**

El costo del sistema de basculación mecánico mediante un tornillo sin fin-corona y un volante se estimó en \$ 800 dólares.

**b. Transmisión de tornillo sin fin-corona con accionamiento automático**

En el Laboratorio de Ciencia de Materiales se encuentra disponible una caja reductora de velocidad, a la cual se la realizó una prueba de funcionamiento en el Laboratorio de Máquinas Eléctricas. En la Tabla 13 se indican las características de la caja reductora de velocidad indicadas en la placa del motor y del reductor.

**Tabla 13***Características del reductor de velocidad*

<b>Características</b>	
Velocidad del motor	1500 [rpm]
Potencia	0.18 [KW]
Relación de transmisión	1400:1
Voltaje	210 [V]
Amperaje	0.25 [A]

En la Figura 27 se muestra la limpieza realizada de la caja reductora y se cambió el aceite lubricante como se muestra en la Figura 28. En la prueba realizada al reductor de velocidad (ver Figura 29) se obtuvieron los siguientes resultados mostrados en la Tabla 14:

**Tabla 14***Resultados de la prueba a la caja reductora*

<b>Características</b>	
Amperaje	0.17 [A]
Voltaje	125 [V]
Operatividad	Óptima
Sentido de giro	Avance y retroceso
Velocidad de salida	1 .1 [rpm]

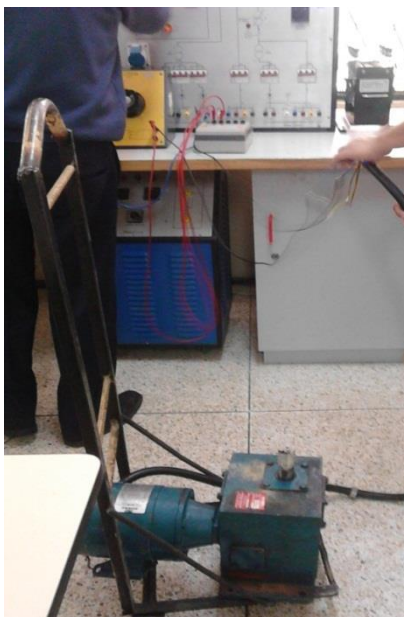




**Figura 27.** Limpieza interna de la caja reductora



**Figura 28.** Cambio de aceite del reductor



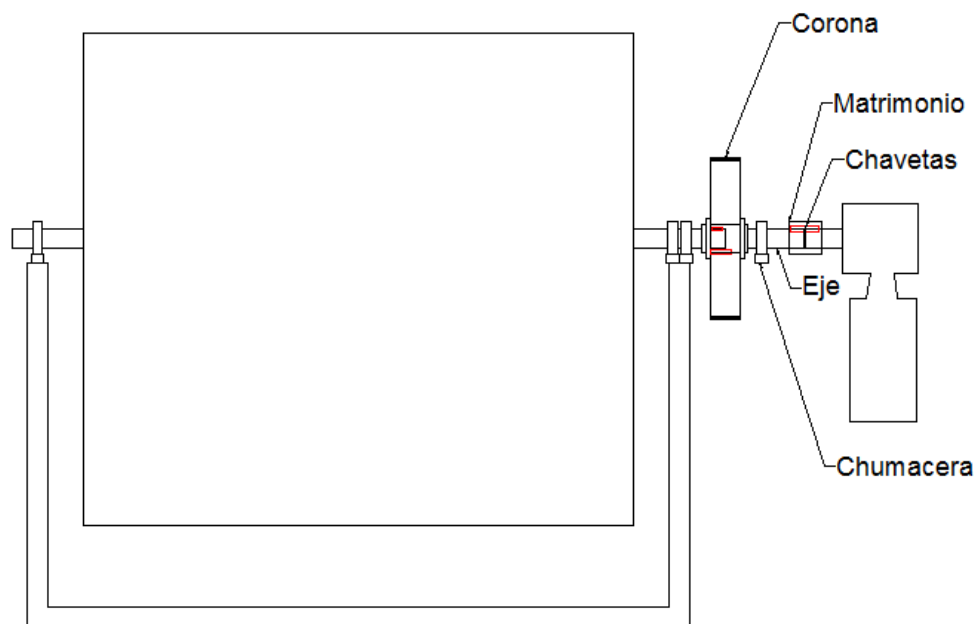
*Figura 29.* Prueba de funcionamiento de la caja reductora

### **Componentes**

El sistema de basculación automática consta de los siguientes componentes:

- Caja reductora de velocidad
- Sistema de control
- Matrimonio
- Eje de salida de la corona
- Chumaceras

En la Figura 30 se indican los componentes del sistema de basculación automático, el funcionamiento se realizará mediante un sistema de control. El eje de salida de la caja reductora se acoplará mediante un matrimonio al eje de la corona, el mismo que esta acoplado al eje de salida del horno, de esta manera se controlará la basculación del horno.



**Figura 30.** Sistema automático de basculación

A continuación se presentan las ventajas y desventajas del sistema automático usando una caja reductora de velocidad (ver Tabla 15):

**Tabla 15**

*Sistema automático de basculación*

<b>Ventajas</b>	<b>Desventajas</b>
Posee un sistema seguro de transmisión	Su aplicación es mantener un gran volumen de producción para justificar el costo de la capacidad instalada
Permite una mejora en la calidad del trabajo del operador y en el desarrollo del proceso	Aumento en la dependencia del mantenimiento y reparación del sistema
Requiere de poco espacio y tiempo para su instalación	Mayor número de componentes mecánicos para su instalación, incrementando el costo del sistema de basculación
Permite un fácil manejo y maniobrabilidad en el sistema de basculación	Puede ocasionar un bloqueo en el sistema de basculación, si el sistema de control sufriese un apagón eléctrico

## **Costo**

El costo del sistema de basculación automático mediante un sistema de control es de aproximadamente 1600 dólares.

## **B. Selección de alternativas**

Para el presente proyecto se implementarán las dos alternativas anteriormente señaladas. Para facilidad de los estudiantes y docentes del Laboratorio de Ciencia de Materiales, el sistema de control adaptado a una caja reductora de velocidad permite un accionamiento automático en la basculación, brindando mayor seguridad y fácil manejo del horno y además de acuerdo al estudio realizado, se implementará un sistema manual de tornillo sin fin-corona, idóneo para la readecuación del sistema de basculación, por sus características ya mencionadas que se adaptan al funcionamiento y operatividad del horno

Se implementará el sistema de basculación manual en caso de alguna emergencia en la caja reductora de velocidad, de tal manera que se desacopla el matrimonio del eje de salida de la caja reductora y se acoplará el tornillo sin fin en la parte superior de la corona. En la Tabla 16 se indican las características de cada sistema de basculación.

**Tabla 16***Características de los sistemas de basculación*

<b>Tipo de sistema</b>	<b>Número de personas</b>	<b>Descripción</b>	<b>Tiempo de operación</b>
Basculación manual	4 para la basculación y moldeo	Una persona se encargará del volante para bascular el horno, dos personas verterán el metal fundido en la coquilla y una persona se encargará de desmoldear.	En una hora se calentará el horno, alcanzando una temperatura de 636 [°C]. Posteriormente se colocará el aluminio en el crisol hasta alcanzar la temperatura de colado 710 [°C]. La operación de verter el aluminio fundido en la coquilla y posterior a ello el desmoldeo, se estima que se realice en 5 minutos.
Basculación automática	4 para la basculación y moldeo	Una persona se encargará del sistema de control para la bascular el horno, dos personas verterán el metal fundido en la coquilla y una persona se encargará de desmoldear.	

### 3.3. Molde metálico

Al seleccionar el proceso de fundición por gravedad en un molde metálico se presentan a continuación varias consideraciones a tomar en su diseño que forman parte de los requerimientos y parámetros necesarios para su construcción.

### 3.3.1. Requerimientos

Para el presente proyecto se necesita disponer de un molde metálico para proporcionar semiproductos de aluminio en base a las dimensiones y formas requeridas para las prácticas de Laboratorio de Procesos de Manufactura I.

De acuerdo a una encuesta planteada a los ingenieros que dictan la cátedra de Procesos de Manufactura I quienes a su vez son los encargados de las prácticas que se llevan a cabo en el Laboratorio citado, se determinó obtener un cilindro de diámetro de 80 [mm] x 200 [mm] y un prisma de 50 [mm] x 50 [mm] x 200 [mm]. De esta manera para el diseño del molde metálico se debe estimar lo siguiente:

- La cantidad de semiproductos que requiere el Laboratorio de Manufactura para un semestre son 30 cilindros y 30 prismas con las medidas señaladas anteriormente, esto indica que se requieren 120 [kg] de aluminio para fundir y obtener esta cantidad de semiproductos.
- Debe ser diseñado y construido para brindar facilidad en su operatividad y que proporcione un correcto cierre entre sus dos mitades principalmente para evitar fugas del material y excentricidades en el semiproducto obtenido.
- El molde metálico debe poseer un sistema de cierre que facilite su empleo el cual debe ser ágil y versátil en su funcionamiento. Para que el mecanismo trabaje correctamente se instalará en cada una de las partes del molde metálico un portamolde que forma parte de la prensa manual.
- La vida útil del molde metálico está sujeta a condiciones de temperatura elevadas de trabajo al que va estar sometida en el momento de verter el material fundido. Una forma de cuantificar la vida útil del molde metálico es mediante el uso del equipo y la cantidad de piezas a fundir. Para el presente proyecto se usará acero ASTM A36 que tendrá una capacidad máxima de producción de 1000 piezas de aluminio (ver Tabla 4), para un periodo de 10 años.

### 3.3.2. Parámetros

Los parámetros de diseño del interior del molde que se deben considerar son los siguientes:

## A. Consideraciones constructivas

- Geometría de diseño: la fundición en coquilla se la puede realizar para cualquier tipo de forma, sin embargo, debe tener un diseño simple para obtener una fundición que facilite su extracción y que sea de buena calidad.
- Sobredimensionamiento: debido a la contracción del aluminio 1.3 % (ver Tabla 1) al momento de solidificarse es recomendable realizar una sobre medida de las cavidades del molde para obtener un semiproducto con las medidas requeridas, a su vez esta sobre medida ayudará en el caso de presentarse otro proceso como un maquinado por arranque de viruta.
- Espesores de pared: tras el maquinado de las cavidades debe poseer una sección uniforme en las dos mitades del molde, para evitar la formación de contracciones generadas en las secciones más gruesas ya que generan puntos calientes en la fundición debido principalmente a un mayor volumen de material fundido que requiere más tiempo en alcanzar la solidificación.
- Ángulos de salida: se recomienda tener un ángulo de salida de 0.5° a 2° para facilitar el desmoldeo de la pieza fundida y evitar que la pieza solidificada se remuerda en las cavidades del molde fundido. (Kalpakjian, 2008, pág. 326)
- Tolerancias dimensionales: en un molde metálico permanente se obtienen mejores tolerancias superficiales  $\pm 0.015$  [mm] (ver Tabla 3). Las tolerancias que entrega la fundición son suficientes para los semiproductos del presente proyecto debido a que serán utilizados en un proceso de maquinado.
- Evacuación de gases: permitirá la ventilación adecuada de las cavidades para disipar en forma rápida los gases producidos en la fundición, principalmente se realizan agujeros de un diámetro muy reducido a través de las paredes del molde para prevenir la formación de defectos como la porosidad.
- Expulsores: permiten remover a través de botadores los semiproductos solidificados en el molde, se sitúan pequeños orificios en las paredes del molde para conseguir este fin.
- Guías: permiten que se acoplen perfectamente las dos mitades del molde, constan de un macho y una hembra que encajan para prevenir excentricidades en el semiproducto.

- Mazarotas: permite abastecer las cavidades del molde metálico almacenando la colada más tiempo para impedir rechupes formados por la contracción del material, su solidificación es la última en realizarse.
- Mecanismo de cierre: permite el enclavamiento de la coquilla al momento de verter la colada en su interior.

## **B. Material para el molde**

Para la construcción de la coquilla en el presente proyecto se tiene en cuenta el requerimiento de obtener 30 cilindros y 30 prismas por semestre para el Laboratorio de Manufactura.

La fundición gris tiene como dificultad la disponibilidad en el mercado y presencia de defectos como poros, cavidades. Mientras que el acero AISI H11 es utilizado para trabajo en caliente por su buena tenacidad y resistencia a fisuras, pero debido a que el acero mencionado no se encuentra en el mercado de forma de suministro requerido y su costo es elevado, no es una alternativa para el presente proyecto.

Por las consideraciones ya mencionadas, se ha seleccionado el acero ASTM A36 para la construcción del molde por su disponibilidad en el mercado, por su fácil maquinabilidad, por su bajo costo, y propiedades mecánicas aplicables al presente proyecto. El acero ASTM A36 cubrirá con los requerimientos de un molde metálico, y su aplicación en el presente proyecto es usarlo como un probetero para fabricar 30 cilindros y 30 prismas por semestre. Se debe mencionar que el molde metálico no será utilizado para una producción industrial en serie.

A continuación se muestran las propiedades del acero ASTM A36 (ver Tabla 17):



**Tabla 17**  
*Propiedades del acero ASTM A36*

<b>Propiedad</b>	<b>Unidad</b>
Dureza	210 [HB]
Densidad	7.83 [kg/m <sup>3</sup> ]
Conductividad térmica	54 [W/m <sup>o</sup> K]
Expansión térmica	11 [m/m <sup>o</sup> K]
Termodifusividad	1.47 x10 <sup>-5</sup> [m <sup>2</sup> /s]

Fuente: (MakeltFrom.com, s.f.)

### C. Parámetros térmicos

Los parámetros térmicos a considerar para el diseño de la coquilla serán los siguientes:

- $k_{Al}$  conductividad térmica del aluminio 240 [W/m<sup>o</sup>K] (Schey, 2002, pág. 117)
- $T_{Al}$  punto de fusión del aluminio 660 [°C] (Groover, 2007, pág. 68)
- $L$  calor latente de fusión del aluminio 397 000 [W.s/kg] (Serway, 2008, pág. 561)
- $c_p$  calor específico del aluminio 920 [W.s/kg<sup>o</sup>K] (Goyos, Tecnología de la Fundición , 1992)
- $a$  termodifusividad de la coquilla 1.47x10<sup>-5</sup> [m<sup>2</sup>/s]
- $T_v$  temperatura de vertido del aluminio 710 [°C] (Goyos, Tecnología de la fundición II, 1992, pág. 199)
- $T_s$  temperatura de desmoldeo del aluminio 300 [°C] (Goyos, Tecnología de la fundición II, 1992, pág. 210)
- $T_o$  temperatura de precalentamiento de la coquilla 200 [°C] (Coste, 1962, pág. 149)

### 3.4. Prensa Manual

Considerando el funcionamiento que debe tener el sistema de sujeción del molde metálico además de su versatilidad se tomó como ejemplo el sistema de fijación que provee una entenalla

de banco de mordazas planas, a continuación, se describe los parámetros y requerimientos que gobiernan al diseño de la prensa manual.

### **3.4.1. Requerimientos**

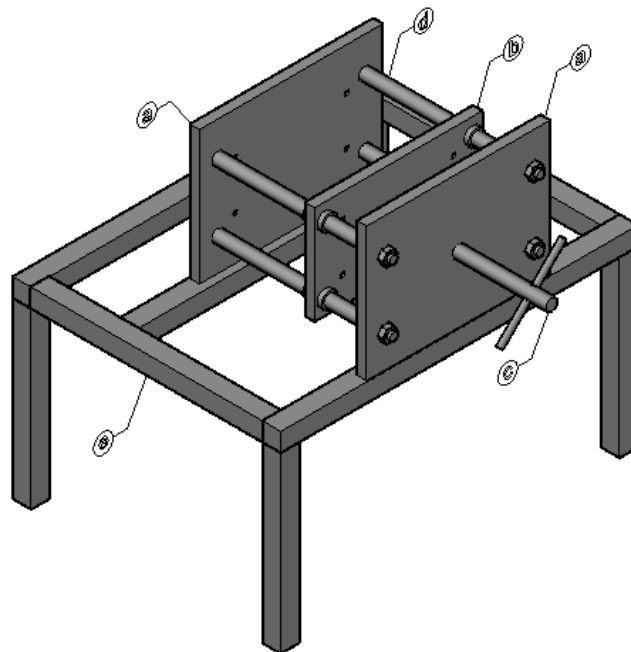
Se analizará los requerimientos básicos que se deben tomar en el proceso de fundición principalmente en la manipulación de la prensa manual la misma que será efectuada por los alumnos de mecánica en las prácticas de Fundición, de esta manera se citan las siguientes consideraciones a tomar en su diseño.

- **Facilidad de operación:** es un requerimiento muy importante que rige la selección del tipo de prensa manual, así como la versatilidad en su mecanismo de accionamiento para ensamblar las dos mitades del molde, y de esta manera evitar una excentricidad en el semiproducto.
- **Mantenimiento:** debe ser un equipo sencillo y que su mecanismo permita efectuar un mantenimiento sin utilizar muchos recursos como mano de obra y herramientas.
- **Peso del equipo:** debe poseer un peso mínimo que permita una fácil maniobrabilidad del equipo además que permita su traslado.

### **3.4.2. Componentes**

El sistema de apertura y cierre debe ser rápido y eficaz garantizando un correcto acoplamiento entre las dos mitades del molde, su funcionalidad debe ser muy sencilla principalmente en el momento para realizar el desmoldeo de la pieza fundida. El material con el cual se va a realizar la construcción de la prensa manual y de sus componentes será de acero A36, principalmente seleccionado por su disponibilidad y costo.

El sistema conjunto de la prensa manual y la mesa se indica en la Figura 31, poseen varios componentes que se indican a continuación:



**Figura 31.** Conjunto mesa-prensa manual

**a. Placas externas**

Las placas externas forman parte del bastidor de la prensa manual y sirve de soporte a todo el conjunto conformado por los ejes, la placa móvil y el tornillo sin fin.

**b. Placa móvil**

Permiten acoplar la mitad del molde móvil a la parte fija, va a tener un desplazamiento longitudinal a través de los ejes para abrir o cerrar el molde.

**c. Tornillo de ajuste**

Ayuda al desplazamiento y ajuste rápido de la placa móvil al momento de cerrar las mitades del molde. Su principal utilidad es el bloqueo o ajuste que se debe tener en la prensa manual para formar la cavidad generada por el molde cerrado.

**d. Ejes**

Está formado por cuatro ejes guías por donde se desplazan la placa móvil en las cuales se encuentra montada la mitad del molde, permitiendo abrir o cerrar el molde para su funcionamiento.

**e. Mesa**

La mesa sobre la cual se asentará el mecanismo conjunto de la prensa manual y del molde metálico, será diseñada con tubo de acero estructural A36, ya que solo se necesitaría para situar la prensa manual, no es indispensable recurrir a un diseño más detallado.

**3.5. Sistema de extracción de gases**

El horno basculante disponible en el Laboratorio de Ciencia de Materiales no cuenta con un sistema de extracción de gases requerido para su funcionamiento, por esta razón es necesario implementar un sistema que permita extraer los gases durante el proceso de fundición, tanto del material fundido como del quemador.

Se realizó una prueba de funcionamiento del quemador, donde se obtuvo las siguientes consideraciones:

- Se realizó una limpieza de los electrodos, sensor de luz y contactos (ver Figura 32)



*Figura 32.* Limpieza del quemador

- De acuerdo a consideraciones técnicas para realizar el encendido se debe cerrar el paso de aire del ventilador, y regular el paso de combustible.
- Al realizar la prueba del quemador (ver Figura 33) se obtuvo una emisividad alta de gases generados por el combustible.



*Figura 33.* Prueba del quemador

- Luego de la calibración del quemador se acoplo al horno y se obtuvo una emisividad tolerable (ver Figura 34).



*Figura 34.* Horno encendido

- Para abastecer de combustible al quemador su depósito debe localizarse a una altura adecuada, se estima de 1.70 [m], para generar la suficiente presión, y de esta manera atomizar el combustible para que se produzca una llama adecuada (ver Figura 35)



*Figura 35.* Altura del depósito de combustible

- Se requiere construir una estructura para colocar el depósito de combustible, se debe tomar en cuenta las normas de seguridad de la Universidad de las Fuerzas Armadas “ESPE” para esta implementación, donde los combustibles deben estar fuera de los laboratorios.

### 3.5.1. Parámetros

Los parámetros del sistema de extracción de gases se citan en la Tabla 18, y a continuación se los describe:

- **Temperatura en la chimenea del horno:** este parámetro se usará para la selección del material de la campana y del ducto del sistema de extracción, cuyas características mecánicas deben resistir dicha temperatura.
- **Diámetro del horno:** este parámetro nos permite definir la altura a la que se instalará la campana, para evitar que exista un contacto entre el horno y la campana.

**Tabla 18***Parámetros del sistema de extracción*

<b>Dimensiones</b>	<b>Medida</b>
Temperatura en la chimenea	337 [°C]
Diámetro exterior del horno	122 [cm]

Fuente: (Bone &amp; Crespo, 2015)

### **3.5.2. Requerimientos**

El sistema de extracción debe estar en la capacidad de absorber los gases generados durante el proceso de fundición, evitando que se expandan por el Laboratorio de Ciencia de Materiales, de esta manera garantizar que los estudiantes y docentes durante el desarrollo de la práctica no sean afectados a causa de la contaminación de los gases.



## **CAPÍTULO 4**

### **DISEÑO**

#### **4.1. Introducción**

En el presente capítulo se desarrollará los diseños del sistema de basculación del horno, del molde metálico, de la prensa manual y del sistema de extracción de gases que en conjunto formaran parte de la instalación integrada para colada de semiproductos en molde metálico a partir de los equipos disponibles en el Laboratorio de Ciencia de Materiales de la Universidad de las Fuerzas Armadas “ESPE”.

#### **4.2. Diseño del sistema de basculación del horno**

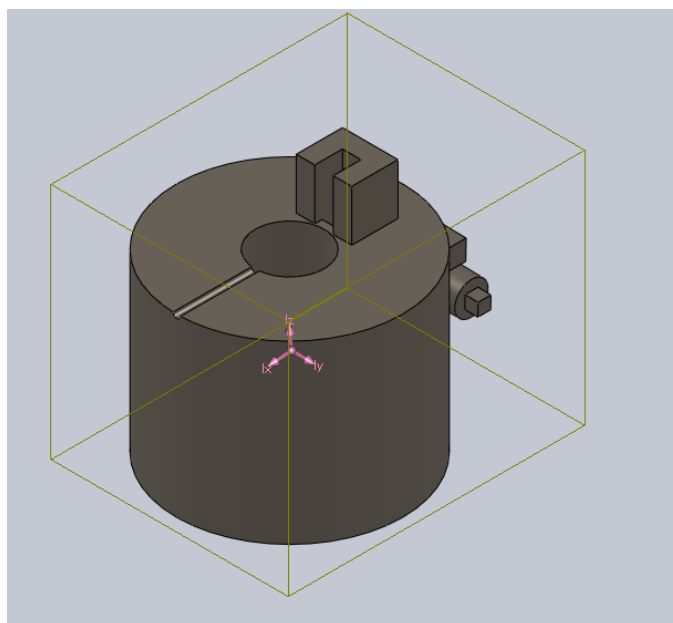
En el sistema de basculación se desarrollará los siguientes diseños:

- Diseño del sistema automático de basculación
- Diseño del sistema manual de basculación tornillo sin fin-corona

##### **4.2.1. Torque generado por el horno**

Se determinará el torque generado por el horno, a partir de la ecuación (3), considerando que el horno inicia con una velocidad angular  $\omega_o = 0$  [rpm], y que alcanzará una velocidad angular final  $\omega_f = 1$  [rpm] en un tiempo  $t = 2$  [s]. La inercia del horno se calculó mediante un software, como se muestra en la Figura 36 y en la Figura 37, obteniendo como resultado  $I_x = 470$  [kg.m<sup>2</sup>].

Los sistemas de basculación planteados deberán tener torques superiores al torque generado por el horno para controlar su inercia.



**Figura 36.** Ensamble Horno-Quemador

Propiedades de masa de Ensamblaje2		
Configuración: Predeterminado		
Sistema de coordenadas: -- predeterminado --		
Masa = 2693767.77 gramos		
Volumen = 1141276384.18 milímetros cúbicos		
Área de superficie = 18764290.68 milímetros cuadrados		
Centro de masa: ( milímetros )		
X = -93.09		
Y = -248.79		
Z = -15.31		
Ejes principales de inercia y momentos principales de inercia: ( gramos * milímetros cuadrados )		
Medido desde el centro de masa.		
lx = (-0.08, -0.11, 0.99)	Px = 469258119639.96	
ly = ( 1.00, -0.03, 0.08)	Py = 495114486550.69	
lz = ( 0.02, 0.99, 0.11)	Pz = 527087059063.19	
Momentos de inercia: ( gramos * milímetros cuadrados )		
Obtenidos en el centro de masa y alineados con el sistema de coordenadas		
Lxx = 494956391773.93	Lxy = -504329662.25	Lxz = -2186247079.26
Lyx = -504329662.25	Lyy = 526413412566.73	Lyz = -6117573108.55
Lzx = -2186247079.26	Lzy = -6117573108.55	Lzz = 4700898609.19
Momentos de inercia: ( gramos * milímetros cuadrados )		
Medido desde el sistema de coordenadas de salida.		
lxx = 662327303928.72	lxy = 61882918929.64	lxz = 1652105360.35
lyx = 61882918929.64	lyy = 550387345411.10	lyz = 4141028794.76
lzx = 1652105360.35	lzy = 4141028794.76	lzz = 6601723925.25

**Figura 37.** Inercia del conjunto horno-quemador

$$T = I \cdot \alpha \quad (3)$$

$$T = \frac{I \cdot (w_f - w_o)}{t}$$

Dónde:

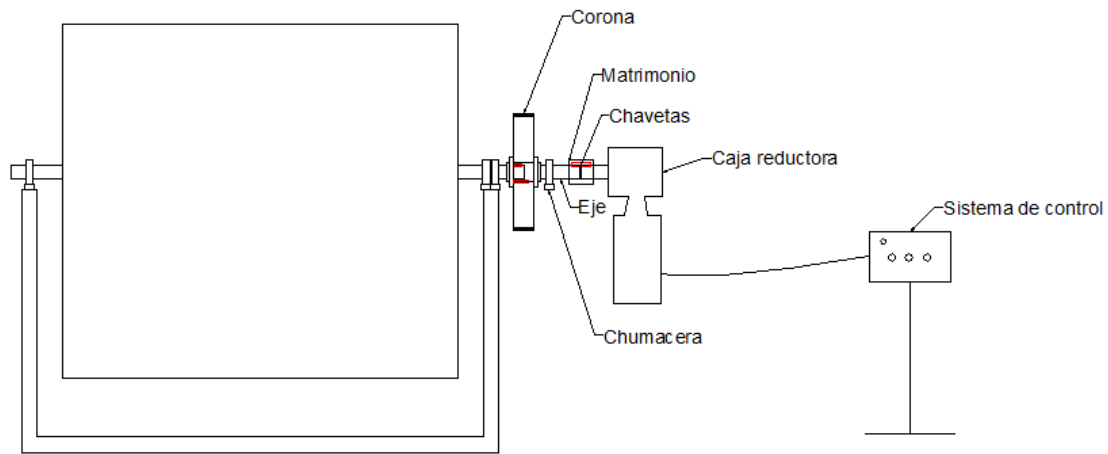
- I inercia [g.mm<sup>2</sup>]
- $\alpha$  aceleración angular [rad/s<sup>2</sup>]
- $w_o$  velocidad angular inicial [rad/s]
- $w_f$  velocidad angular final [rad/s]
- t tiempo [s]

$$T = 25 [N \cdot m]$$

Por motivos de diseño al torque obtenido se le aumenta un 50 %, debido a las perdidas energéticas como es la fricción, temperatura principalmente, obteniendo de esta manera un torque  $T = 37.5 [N \cdot m]$ .

#### 4.2.2. Diseño del sistema automático de basculación

Para el sistema automático se determinará y analizará el torque generado por la caja reductora, el cual deberá ser superior al torque generado por el horno, y posteriormente se realizará el circuito del sistema de control para la caja reductora. El eje de salida de la corona forma parte del sistema automático de basculación, el mismo que será analizado en el diseño de la corona (Ver Figura 38).



**Figura 38.** Esquema del sistema automático de basculación

#### 4.2.2.1. Verificación del torque generado por la caja reductora

Se determinará el torque de la caja reductora, debido a que en su placa no indica el torque de salida. Se calculará mediante la ecuación (4), los datos utilizados están citados en la Tabla 13:

$$T = \frac{P \cdot 716}{N} \quad (4)$$

Dónde:

- T torque [kg.m]
- P potencia del motor P= 0.24 [hp]
- N velocidad de salida de la caja reductora N=1.1 [rpm]

$$T = 156.22 [kg.m]$$

$$T = 1531 [N.m]$$

El torque obtenido 1531 [Nm] es superior al torque generado por el horno, con lo cual se garantiza que la caja reductora controlará la basculación del horno.

#### **4.2.2.2. Circuito del sistema de control**

El sistema de control se basa en implementar un componente a la caja reductora de tal manera que permita el avance y retroceso automático del horno, a la velocidad de salida de la caja reductora 1 [rpm].

Los circuitos de control se muestran en el Anexo A, en el Anexo B se describe el funcionamiento del control eléctrico del motor DC y en el Anexo K se indica el manual de usuario del sistema de control automático.

El circuito de control está formado por las siguientes etapas:

- Encendido y protección
- Cambio de corriente de AC a DC para el funcionamiento del motor DC
- Avance y retroceso del motor DC
- Fines de carrera en su posición de equilibrio y en la posición de vertido final

Los principales elementos usados para el circuito del sistema de control son los siguientes:

- Breaker de dos posiciones
- Selector conmutador
- Selector con llave
- Pulsador retenido
- Base fusible
- Fusibles
- Enchufe clavija
- Toma clavija
- Luces electrónicas
- Enchufe trifásico

### 4.2.3. Diseño del sistema manual tornillo sin fin-corona

En el diseño del sistema manual de basculación tornillo sin fin-corona, se tomará en cuenta todos los requerimientos anteriormente citados (ver pág.54). Se realizará una selección de una corona de fundición gris por motivos de costo, facilidad de instalación. Posteriormente se diseñara el tornillo sin fin que se acoplara a la corona.

#### 4.2.3.1. Selección de la corona

La corona de fundición gris se selecciono de acuerdo a las condiciones de un sistema autobloqueante y de acuerdo al espacio disponible para que se acoplen todos los componentes. A continuación se muestran sus características:

- Ángulo de presión estándar  $\phi_n = 20$  [°] (Norton, 2011, pág. 663)
- Número de dientes de la corona  $z_c = 48$ , es superior al mínimo establecido por la AGMA (ver Tabla 19)
- Módulo estándar  $m = 8$ , (Larburu, 2001, pág. 339)
- Diámetro exterior de la corona  $d_e = 400$  [mm]

**Tabla 19**

*Número de dientes sugeridos por la AGMA para engranajes*

$\phi$	$N_{mín}$
14.5	40
17.5	27
20	21
22.5	17
25	14
27.5	12
30	10

Fuente: (Norton, 2011)

#### 4.2.3.2. Verificación del torque generado en la corona

Para determinar el torque en la corona, se requiere calcular el ángulo de avance del tornillo sin fin con el objetivo de asegurar el autobloqueo, los diámetros de paso del tornillo sin fin y la rueda para que la distancia entre centros este dentro del rango establecido por la norma AGMA.

##### A. Ángulo de avance del tornillo sin fin

Un mecanismo tornillo sin fin-corona es prácticamente irreversible para ángulos de avance del tornillo  $\lambda$  inferiores a  $20^\circ$ , aunque teóricamente será irreversible para valores de  $\lambda$  inferiores a  $8^\circ$ . (Mateos Palacio & Moro Piñeiro, pág. 43)

Para el cálculo del ángulo de avance del tornillo sin fin se partirá desde el diámetro exterior del tornillo sin fin  $d_e = 62$  [mm] y un número de entradas  $z_t = 1$  recomendado para autobloqueo, usando a continuación la ecuación (5).

$$d_e = d_p + 2m \quad (5)$$

$$d_p = 2km$$

$$k = \frac{z_t}{2 \cdot \tan \lambda}$$

$$\lambda = \tan^{-1} \left( \frac{z_t \cdot m}{d_e - 2m} \right)$$

$$\lambda = 0.172 \text{ [rad]}$$

$$\lambda = 9.8 \text{ [}^\circ\text{]}$$

Con este valor de ángulo de avance del tornillo sin fin  $9.8^\circ$ , se asegura el autobloqueo, el tornillo controlara a la rueda y el sistema será irreversible.

## B. Diámetros de pasos del tornillo sin fin y la corona

Para determinar los diámetros de paso del tornillo sin fin y la corona se usan las ecuaciones (6) y (7).

$$d1 = \frac{zt \cdot m}{\tan \lambda} \quad (6)$$

$$d2 = m \cdot zc \quad (7)$$

Dónde:

- $d1$  diámetro de paso del tornillo sin fin
- $d2$  diámetro de paso de la rueda

$$d1 = 46 [mm]$$

$$d2 = 384 [mm]$$

Se analiza la distancia entre centros, para que el diámetro de paso del tornillo sin fin se encuentre dentro de un rango establecido por la norma AGMA. Se usará la ecuación (8).

$$\frac{C^{0.875}}{3} \leq d1 \leq \frac{C^{0.875}}{1.6} \quad (8)$$

Dónde:

- $C$  distancia entre centros



$$C = \frac{d1 + d2}{2}$$

$$C = 215[mm]$$

Valor mínimo del diámetro de paso del tornillo sin fin

$$\frac{C^{0.875}}{3} = 37$$

Valor máximo del diámetro de paso del tornillo sin fin

$$\frac{C^{0.875}}{1.6} = 69$$

El diámetro de paso del tornillo sin fin  $d1 = 46$  [mm] se encuentra dentro del intervalo establecido por el AGMA.

### C. Carga tangencial permisible sobre la rueda

La norma AGMA 6034-B92 contiene un método para evaluar la durabilidad de un sistema de tornillo sin fin con una corona. El procedimiento es calcular la carga tangencial permisible en la rueda, se muestra en la ecuación (9):

$$W_{tg} = \frac{C_s \cdot C_m \cdot C_v \cdot d2^{0.8} \cdot F}{75.948} [N] \quad (9)$$

Dónde:

- $C_s$  factor de materiales
- $C_m$  factor de corrección por la relación de engranajes
- $C_v$  factor por velocidad
- $d2$  diámetro de paso de la corona
- $F$  ancho de cara efectivo de la corona

### Factor de Materiales

El factor de materiales se determinará mediante la ecuación (10).

$$C = 215\text{mm} = 8.47 \text{ pulg} \geq 8\text{pulg}$$

$$C_s = 1411.6518 - 455.8259 \log(d_2) \quad (10)$$

$$C_s = 233.65$$

### Factor de corrección por la relación de engranajes

El factor de corrección por la relación de engranajes se lo determinará mediante la siguiente ecuación (11).

$$C_m = 0.0107 \sqrt{-mg^2 + 56mg + 5145} \quad (11)$$

Dónde:

- $mg$  relación de engranajes
- $C_m$  factor de corrección por la relación de engranajes

$$mg = 48$$

$$20 < mg \leq 76$$

$$C_m = 0.8$$

### Factor por velocidad

La velocidad tangencial del tornillo sin fin se la determinará mediante la siguiente ecuación (12), posteriormente se usará la ecuación (13) para determinar el respectivo factor de velocidad.

$$Vt = \frac{\pi \cdot n1 \cdot d1}{304.8 \cos(\lambda)} [pie/min] \quad (12)$$

Dónde:

- $Vt$  velocidad tangencial en el diámetro de paso del tornillo sin fin
- $n1$  velocidad de entrada en el tornillo sin fin, rango de 5 – 10 [rpm]

$$\begin{aligned} Vt &= 4.812 [pie/min] \\ 0 < Vt &\leq 700 [pie/min] \\ Cv &= 0.659 e^{-0.0011 Vt} \end{aligned} \quad (13)$$

$$Cv = 0.7$$

### **Ancho de cara máximo de la corona**

El ancho de cara máximo se lo determinará mediante la siguiente ecuación (14):

$$F = \frac{2 \cdot d1}{3} \quad (14)$$

$$F = 31 [mm]$$

Con los factores obtenidos anteriormente, se determinó la carga tangencial permisible en la rueda y el respectivo torque generado, a continuación se muestran los resultados obtenidos:

$$Wtg = 5747 [N]$$

$$Tg = Wtg \cdot \frac{d2}{2}$$

Dónde:

- $Wtg$  carga tangencial permisible en la rueda
- $Tg$  torque en la rueda
- $d2$  diámetro de paso en la rueda

$$Tg = 1103 [Nm]$$

El resultado del torque en la rueda es de 1103 [Nm] y se lo compara con el torque generado por el horno 37.5 [Nm], se concluye que la corona tendrá una capacidad de soportar una carga muy superior a la que se genera debido al momento del horno.

#### 4.2.3.3. Esfuerzo por flexión en la corona

Como los dientes del sin fin son intrínsecamente mucho más fuertes que los dientes de la corona, no se consideran. Los dientes de las coronas son cortos y gruesos sobre los bordes de la cara, a medio plano son más delgados así como también curvados. Buckingham adaptó la ecuación (15) de Lewis para este caso.

$$\sigma = \frac{Wd}{Pn.F.y} \quad (15)$$

$$Wd = \frac{Wtg}{kv}$$

$$kv = \frac{3.05}{3.05 + Vtg}$$

$$Vtg = \frac{\pi \cdot n2 \cdot d2}{60000 \cdot \cos(\lambda)}$$

$$n2 = \frac{n1}{i}$$

$$Pn = Px \cdot \cos(\lambda)$$

$$Px = m \cdot \pi$$

Dónde:

- $\sigma$  esfuerzo por carga dinámica
- $Wd$  carga dinámica en los dientes de la corona
- $Pn$  paso circular normal de la corona
- $Px$  paso axial de la corona
- $F$  ancho de cara de la corona
- $y$  factor de forma de Lewis
- $Kv$  factor de velocidad
- $Vt$  velocidad lineal en la corona
- $n2$  velocidad angular en la corona
- $d2$  diámetro de paso de la corona

$$n2 = 0.21[RPM]$$

$$Vtg = 0.0043[m/s]$$

$$kv = 0.9$$

$$Wd = 5755.37$$

$$Px = 25.13$$

$$Pn = 24.76$$

$$\sigma = 64.64[MPa]$$

$$\sigma = 8795 [psi]$$

El valor calculado del esfuerzo flexionante en el diente, se lo puede comparar con la resistencia del material de la corona a fatiga. Para hierro colado se usa aproximadamente 0.35 por la resistencia última (ver Tabla 20). El esfuerzo calculado  $\sigma = 8795 [psi]$ , se encuentra dentro del rango de resistencia a fatiga.

#### **4.2.3.4. Material de la corona y el tornillo sin fin**

Para reducir costos de fabricación de la corona, la fundición gris es la alternativa para reemplazar el bronce. El costo de la corona usando bronce es aproximadamente 700 dólares mientras que el costo de una corona de fundición gris es 350 dólares. Al seleccionar fundición gris ASTM 30 como material para la corona (ver Tabla 20 ) la resistencia a la fatiga es de 10500 psi, cuyo valor es superior al esfuerzo calculado a fatiga en un diente de la corona de 8795 psi. El material del tornillo sin fin será de una fundición gris de mayor resistencia.

La combinación de fundición solo es admisible para esfuerzos muy pequeños, pequeñas velocidades y en general, movimientos a mano. (Morti, 1969, pág. 200) Para el caso de tornillo sin fin corona se puede fabricar en fundición gris (ver Tabla 21) porque la velocidad tangencial del tornillo es menor a 400 fpm.

**Tabla 20.***Resistencia a la tensión de fundición gris*

Class No.	Brinell Hardness, Minimum	Tensile Strength, psi, Minimum
20	155	20,000
30	185	30,000
35	205	35,000
40	220	40,000
50	250	50,000
60	285	60,000

Fuente: (Radzevich, 2012)

**Tabla 21.***Combinación de materiales para tornillo sin fin-corona*

Material		Durability Constant, $K_s$	Speed Range, Rubbing Velocity
Worm	Worm Gear		
Steel, 53 HRC minimum	Bronze, phosphor	600	Up to 30 m/s (6000 fpm)
Steel, 35 HRC minimum	Bronze, phosphor	600	Up to 10 m/s (2000 fpm)
Steel, 53 HRC minimum	Bronze, super manganese	1000	Up to 2 m/s (400 fpm)
Steel, 53 HRC minimum	Bronze, forged manganese	700	Up to 10 m/s (2000 fpm)
Cast iron	Cast iron	700	Up to 2 m/s (400 fpm)
Cast iron	Bronze, phosphor	600	Up to 10 m/s (2000 fpm)

Fuente: (Radzevich, 2012)

**4.2.3.5. Geometría de la corona**

En la Tabla 22 se muestran las relaciones y denominaciones geométricas de la corona.

**Tabla 22.**  
*Geometría de la corona*

<b>Corona</b>	
Número de dientes de la corona	$z_c = 48$
Diámetro de paso	$d_2 = m \cdot z_c = 384$
Ángulo de hélice	$\psi_2 = \lambda = 10^\circ$
Paso normal	$p_{n2} = p_{n1} = 24.76$
Addendum	$a = m = 8$
Dedendum	$b = 1.2m = 9.6$
Diámetro exterior	$d_{e2} = m(z_c + 2)$ $= 400$
Diámetro total	$d_t = d_e + m = 408$
Profundidad	$p_x > 4.064$ [mm] $h = 0.6866p_x$ $= 17.26$
Ancho de cara	$p_x > 4.064$ [mm] $F = \frac{2d_1}{3} = 31$
Distancia entre centros:	$C = \frac{d_1 + d_2}{2} = 215$
Holgura:	$c = b - a = 1.6$

#### 4.2.3.6. Eficiencia mecánica de la corona

Cuando el sistema es controlado por el tornillo sin fin se usa la siguiente ecuación (16) para determinar la eficiencia mecánica de la corona:

$$e = \frac{\cos(\phi_n) - f \cdot \tan(\lambda)}{\cos(\phi_n) + f \cdot \cot(\lambda)} \cdot 100\% \quad (16)$$

$$v_1 = \frac{\pi \cdot n_1 \cdot d_1}{60000}$$

$$v_{s1} = \frac{v_1}{\cos(\lambda)}$$



Para  $v_{s1} < 0.051 \text{ m/s}$

$$f = 0.124 e^{-0.074 \cdot v_{s1}^{0.645}}$$

Dónde:

- $e$  eficiencia mecánica de la corona
- $f$  coeficiente de fricción
- $\phi_n$  ángulo de presión normal
- $\lambda$  ángulo de avance del sin fin
- $v_l$  velocidad de la línea de paso del tornillo sin fin
- $v_{s1}$  velocidad de deslizamiento

$$v_l = 0.024 [\text{m/s}]$$

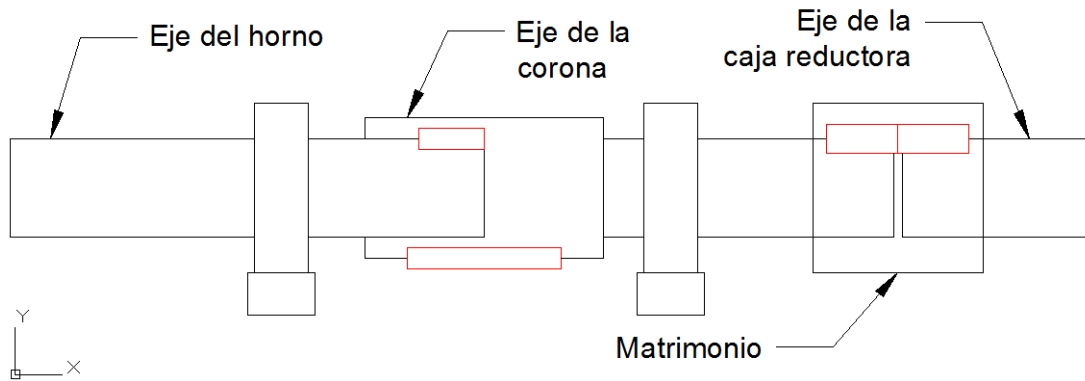
$$v_{s1} = 0.024 \left[ \frac{\text{m}}{\text{s}} \right] = 4.812 [\text{pie/min}]$$

$$f = 0.101$$

$$e = 61\%$$

#### 4.2.3.7. Diseño del eje de la corona

El eje se acopla a la corona mediante una chaveta, tiene una reducción de sección a un diámetro de 30 [mm] para acoplarse mediante un matrimonio al eje de salida de la caja reductora, además el eje de salida del horno se acoplará al eje de la corona mediante una chaveta (ver Figura 39), permitiendo que se ejecute el funcionamiento de la basculación automática.



**Figura 39.** Ejes del sistema de basculación automática

Se determinan las fuerzas axial y radial en la corona usando las ecuaciones (17) y (18).

$$Wtg = 5747.359 [N]$$

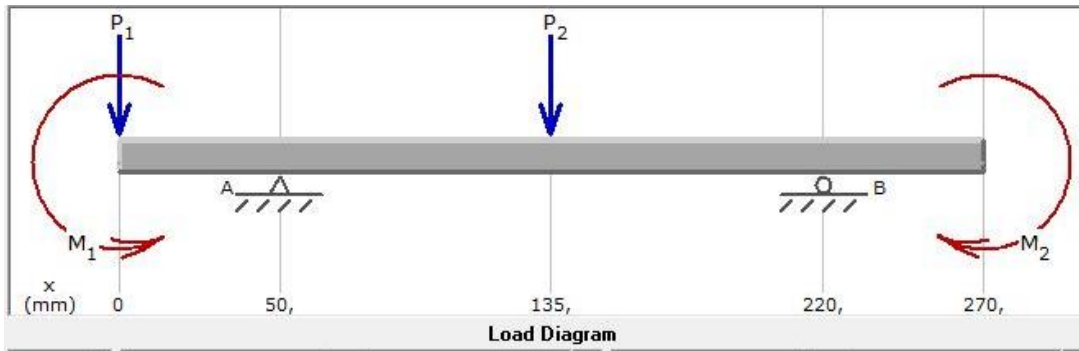
$$Wxg = Wtg \cdot \frac{\cos(\phi n) \operatorname{sen}(\lambda) + f \cos(\lambda)}{\cos(\phi n) \cos(\lambda) - f \cos(\lambda)} \quad (17)$$

$$Wrg = \frac{Wtg \cdot \operatorname{sen}(\phi n)}{\cos(\phi n) \cos(\lambda) - f \operatorname{sen}(\lambda)} \quad (18)$$

$$Wxg = 1648.94 [N]$$

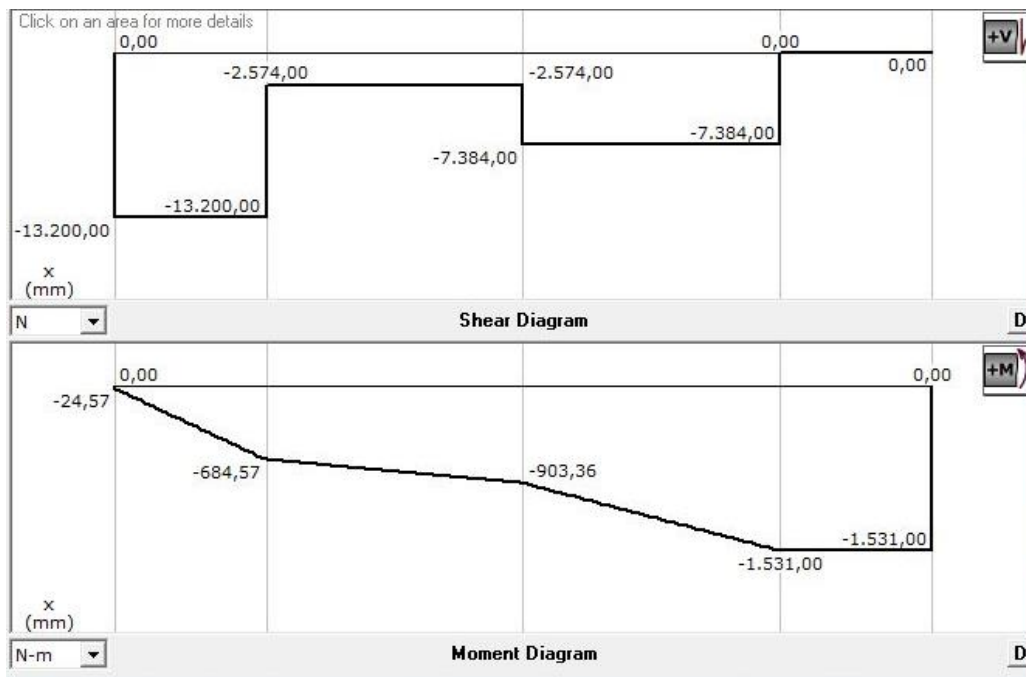
$$Wrg = 2163.77 [N]$$

La carga  $P1=13200 [N]$  corresponde a la mitad del peso del horno, la carga  $P2=2646 [N]$  corresponde al peso de la corona más carga radial de la corona  $Wrg= 2164 [N]$ ,  $T1= 24.57 [Nm]$  es el torque generado por la inercia del horno y el  $T2=1531 [Nm]$  es el torque generado por la caja reductora. (Ver Figura 40)

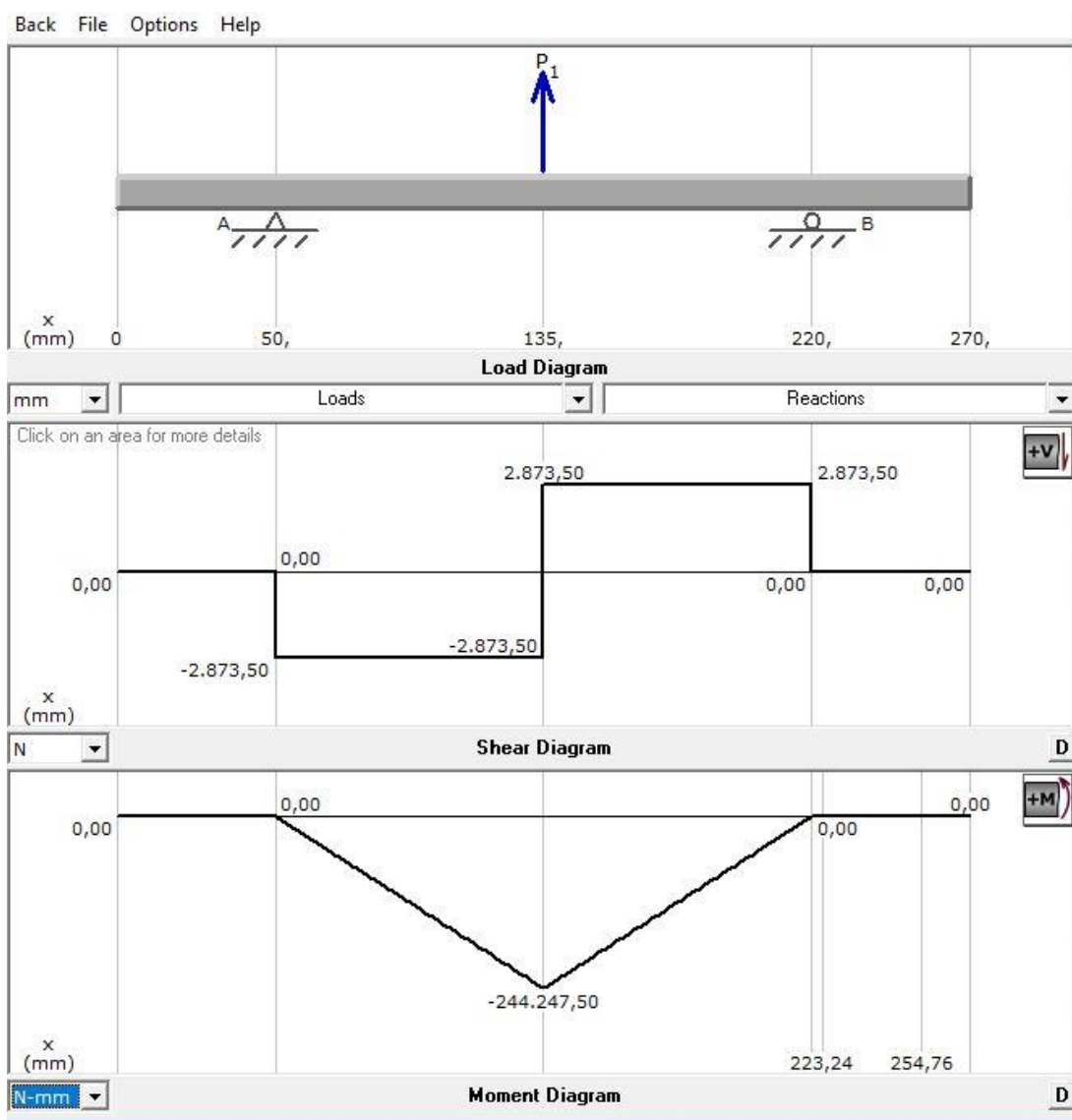


**Figura 40.** Fuerzas en el eje de la corona

A continuación se realizan los diagramas de fuerza cortante y momento flector en los ejes x-y (ver Figura 41) y en los ejes x-z (ver Figura 42) y posterior a ello el respectivo análisis a fatiga para determinar el factor de seguridad del eje de la rueda.



**Figura 41.** Diagrama de fuerza cortante y momento flector en el eje x-y



**Figura 42.** Diagrama de fuerza cortante y momento flector en el eje x-z

El momento máximo en el plano y-x es  $M_1=1531$  [Nm] y en el plano z-x es  $M_2=244.25$  [Nm], a continuación se determina el momento resultante y posterior a ello el respectivo análisis a fatiga para determinar el diámetro mínimo del eje del tornillo sin fin.

$$Mr = \sqrt{M_1^2 + M_2^2}$$

$$Mr = 1550[Nm]$$

Se realiza el análisis de falla a fatiga aplicando la ecuación de Soderberg:

$$\frac{1}{FS} = \frac{\sigma_m}{Sy} + \frac{\sigma_a}{Se}$$

*Material : Acero AISI 4340*  $Su = 1200[MPa], Sy = 900[Mpa]$

$$\sigma_b = \frac{32Mr}{\pi \cdot d^3} \quad \tau = \frac{16T}{\pi \cdot d^3}$$

$$\sigma_m = k_f \cdot \tau_b$$

$$\sigma_a = k_f \cdot \sigma_b$$

$$k_f = 1 + q(k_t - 1)$$

$$Se = k_a \cdot k_b \cdot k_c \cdot k_d \cdot Se'$$

$$Se' = 0.5 Su$$

$$k_a = a Su^b$$

$$k_b = \left(\frac{d}{7.62}\right)^{-0.107} \quad 2.79 \leq d \leq 51mm$$

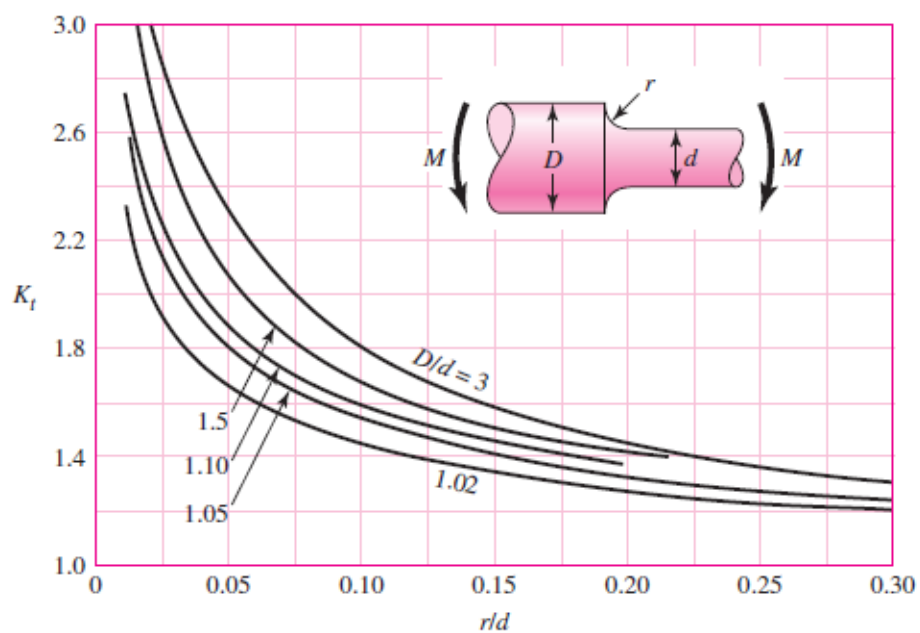
$$k_c = 0.59 \text{ para torsión}$$

$$k_d = 1 \text{ para temperatura ambiente } 20^\circ C$$

Dónde:

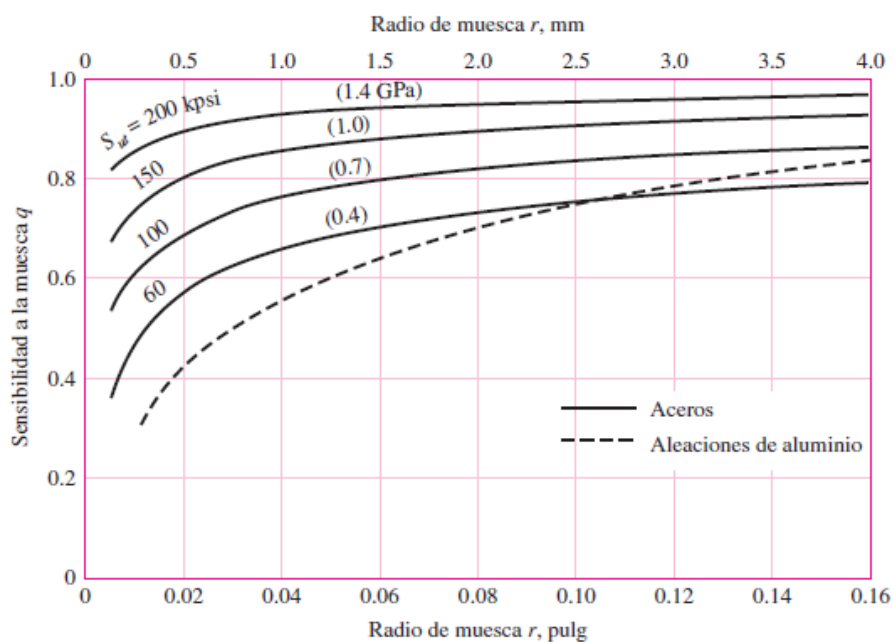
- $Mr$  momento resultante [Nm]
- $d$  diámetro del eje del tornillo [mm]

- $FS$  factor de seguridad
- $\sigma_m$  esfuerzo medio
- $\sigma_a$  esfuerzo alternante
- $kt$  factor de concentración del esfuerzo nominal, con  $r=1.5$ ,  $d=35$ ,  $D/d=2$   $kt=2.3$  (ver Figura 43)
- $q$  sensibilidad a la muesca, con  $r=1.5$ ,  $q=0.85$  (ver Figura 44)
- $kf$  factor de concentración del esfuerzo por fatiga
- $S_u$  resistencia ultima, acero AISI 4340 [MPa] (ver Anexo C )
- $S_e$  límite de resistencia a la fatiga [MPa]
- $ka$  factor de modificación de la condición superficial, para maquinado (ver Tabla 23)
- $kb$  factor de modificación de la tamaño, se asume un  $d=35$  [mm]
- $kc$  factor de modificación de la carga
- $kd$  factor de modificación de temperatura Tabla 24.
- $S_e'$  límite de resistencia a la fatiga en viga rotatoria [MPa]



**Figura 43.** Factor  $K_t$  de concentración de esfuerzos

Fuente: (Shigley, 2008)



**Figura 44.** Factor de sensibilidad a la muesca

Fuente: (Shigley, 2008)

**Tabla 23.**  
*Factor de acabado superficial*

Acabado superficial	Factor $a$		Exponente $b$
	$S_{utr}$ kpsi	$S_{utr}$ MPa	
Esmerilado	1.34	1.58	-0.085
Maquinado o laminado en frío	2.70	4.51	-0.265
Laminado en caliente	14.4	57.7	-0.718
Como sale de la forja	39.9	272.	-0.995

Fuente: (Shigley, 2008)

**Tabla 24.**  
*Factor de temperatura*

Temperatura, °C	$S_T/S_{RT}$
20	1.000
50	1.010
100	1.020
150	1.025
200	1.020
250	1.000
300	0.975
350	0.943
400	0.900
450	0.843
500	0.768
550	0.672
600	0.549

Fuente: (Shigley, 2008)

$$k_f = 2.1$$

$$\sigma_a = 1230 [MPa]$$

$$\sigma_m = 606 [MPa]$$

$$S_e' = 600 [MPa]$$



$$k_a = 0.69$$

$$k_b = 0.85$$

$$S_e = 351.2 \text{ [MPa]}$$

$$FS = 2.7$$

El factor de seguridad  $FS=2.7$  del eje de la corona se considera que se encuentra dentro de un rango aceptable.

### **Selección de los rodamientos para el eje de la corona**

Se determinará la reacción de empuje, y posteriormente se calculará la clasificación de carga de catálogo usando la siguiente ecuación para realizar la respectiva selección del rodamiento.

$$C = F \cdot L^{1/a}$$

$$F = 9544 \text{ [N]}$$

$$L = \frac{L_D \cdot n_d \cdot 60}{10^6}$$

Dónde:

- $F$  carga resultante
- $C$  clasificación de carga de catálogo [KN]
- $L$  vida nominal del rodamiento
- $a$  factor de rodamientos ( $a=3$  para rodillo cilíndrico)
- $L_d$  vida deseada (10años, 10días al mes, 4 horas diarias)

- $nd$  velocidad deseada [rpm]

$$L = 0.32$$

$$C = 6.51 [KN]$$

Se selecciona un rodamiento SKF YET206 (ver Anexo D) y su respectiva chumacera con una carga estática de 11.2 KN, cumpliendo con la carga requerida.

### Chaveta para los ejes que se acoplan a la corona

Se elija una chaveta cuadrangular de 8 [mm] de espesor, se usará un acero ASTM A36 con una resistencia a la fluencia de 36 [ksi]. A continuación se calcula la longitud de la chaveta por cortante usando la ecuación (19) y por aplastamiento usando la ecuación (20).

$$F = 2646[N]$$

$$S_{sy} = 0.577 S_y$$

$$\frac{S_{sy}}{n} = \frac{F}{t \cdot l_1} \quad (19)$$

$$\frac{S_y}{n} = \frac{2F}{t \cdot l_2} \quad (20)$$

Dónde:

- $F$  carga generada por el peso de la corona
- $S_{sy}$  resistencia al cortante
- $S_y$  resistencia a la fluencia
- $n$  factor de seguridad,  $n=2$
- $l_1$  longitud por cortante

- $l2$  longitud por aplastamiento

$$l1 = 5 [mm]$$

$$l2 = 2.5[mm]$$

Para prevenir fallas en el funcionamiento de la corona, se elige una chaveta cuadrada de 8 [mm] de espesor y una longitud de 50 [mm] para acoplar el eje a la corona. Y una chaveta cuadrada de 8 [mm] de espesor y una longitud de 30 [mm] para acoplar el eje de salida del horno al eje de la corona.

### **Chaveta para el matrimonio**

Se elija una chaveta cuadrangular de 10 [mm] de espesor, se usará un acero ASTM A36 con una resistencia a la fluencia de 36 [ksi]. A continuación se calcula la longitud de la chaveta por cortante debido a la carga generada por el peso del horno.

$$F = 13200[N]$$

$$Ssy = 0.577 Sy$$

$$\frac{Ssy}{n} = \frac{Ft}{t.l1}$$

Dónde:

- $Ft$  carga generada por el torque del reductor
- $Ssy$  resistencia al cortante
- $Sy$  resistencia a la fluencia
- $n$  factor de seguridad,  $n=1.5$
- $l1$  longitud por cortante

$$l_1 = 10[\text{cm}]$$

Se colocará una chaveta cuadrada de 10 [mm] de espesor con una longitud de 50 [mm] en el eje de salida de la caja reductora y una chaveta cuadrada de 10 [mm] de espesor con una longitud de 50 [mm] en el eje de salida de la corona.

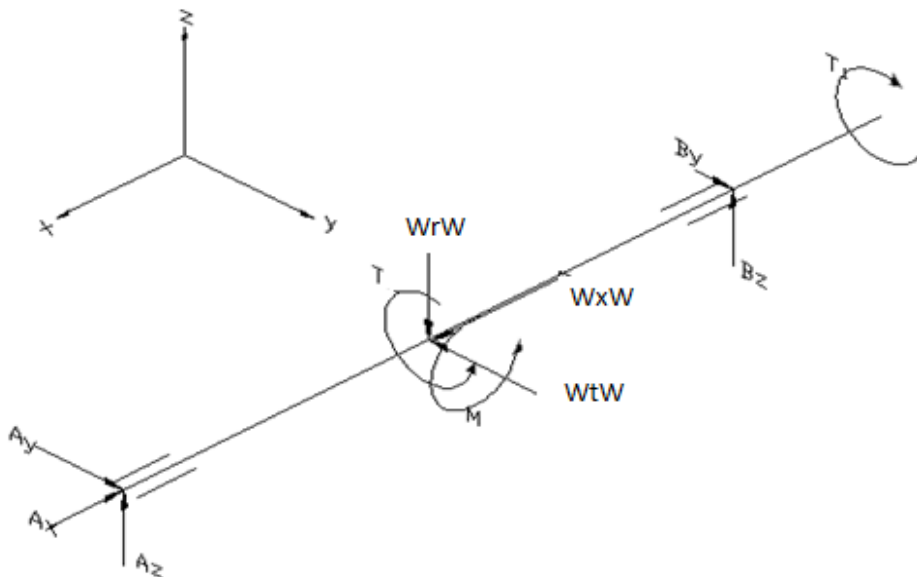
#### **4.2.3.8. Diseño del eje del tornillo sin fin**

Se determinan las fuerzas radial, tangencial y axial del tornillo sin fin (ver Figura 45 ), a partir de las fuerzas presentes en la corona usando las ecuaciones (17) y (18). Los resultados obtenidos se usarán para calcular el factor de seguridad a partir de los esfuerzos generados en el tornillo sin fin, en este caso se realizarán los cálculos para esfuerzos a flexión, no se considerará el esfuerzo por torsión porque la carga de giro en el volante es relativamente baja y de igual forma el brazo de palanca.

En la siguiente Tabla 25 se muestran las relaciones y denominaciones geométricas del tornillo sin fin.

**Tabla 25.**  
*Geometría del tornillo sin fin*

Tornillo sin fin	
Módulo	$m = 8$
Número de entradas	$z_t = 1$
Ángulo de avance	$\lambda = 10^\circ$
Diámetro de paso	$d_1 = \frac{z_t \cdot m}{\tan(\lambda)} = 46$
Ángulo de hélice	$\psi_1 = 90^\circ - \lambda = 80^\circ$
Paso axial	$p_x = m\pi = 25.13$
Paso normal	$p_{n1} = p_x \cdot \sin(\psi) = 24.76$
Addendum	$a = m = 8$
Dedendum	$b = 1.2m = 9.6$
Diámetro exterior	$d_{e1} = d_1 + 2m = 62$
Longitud	$l = 6p_x = 159.8$



**Figura 45.** Diagrama de cuerpo libre del eje del tornillo sin fin

$$W_{xw} = W_{tg}$$

$$W_{tw} = W_{xg}$$

$$W_{rw} = W_{rg}$$

Dónde:

- $W_{tw}$  carga tangencial del tornillo sin fin
- $W_{xw}$  carga axial del tornillo sin fin
- $W_{rw}$  carga radial del tornillo sin fin
- $\phi_n$  ángulo de presión normal
- $\lambda$  ángulo de avance del tornillo sin fin
- $f$  coeficiente de fricción

$$W_{xw} = 5747.36[N]$$

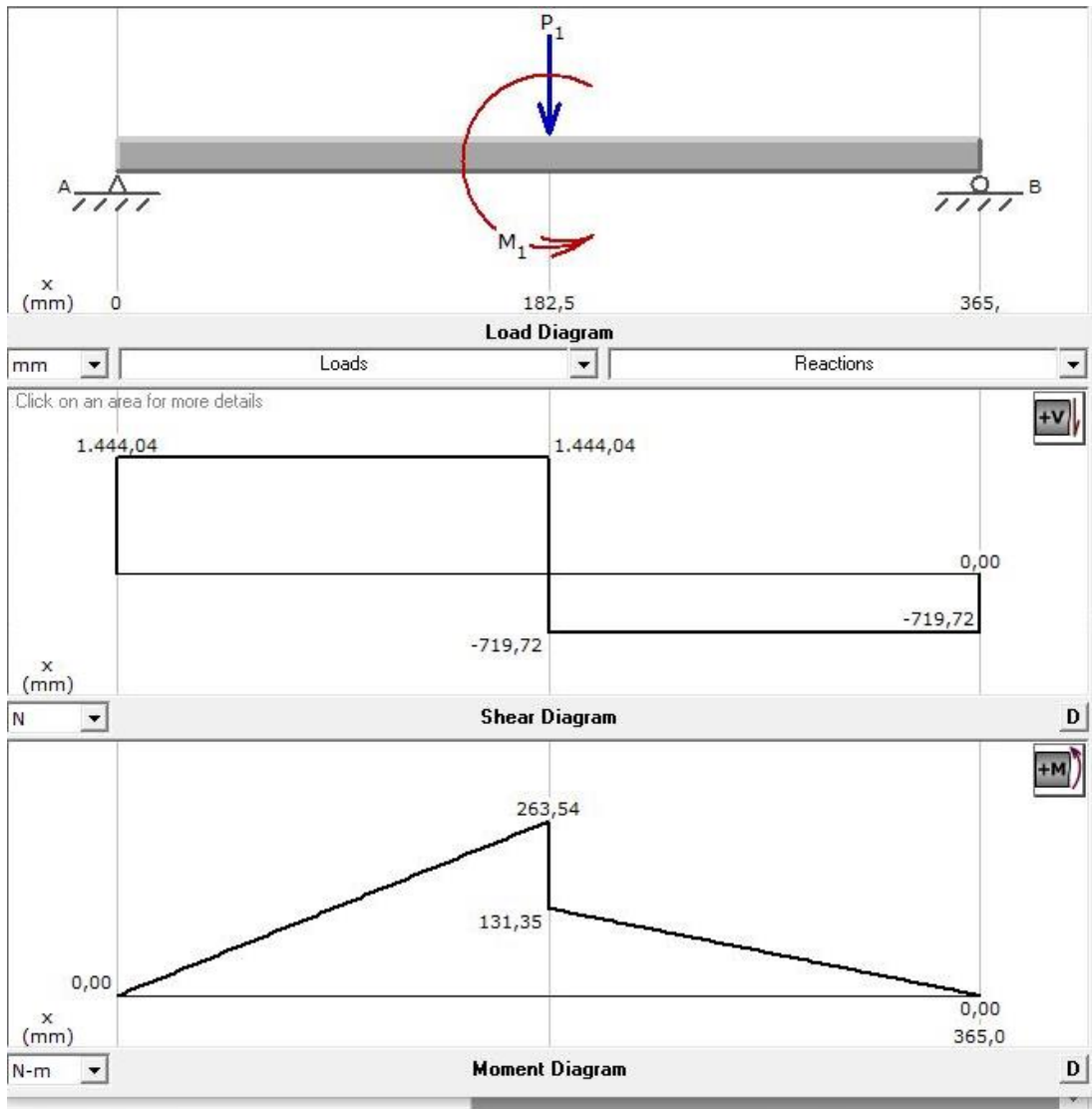
$$W_{tw} = 1648.94[N]$$

$$W_{rw} = 2163.77[N]$$

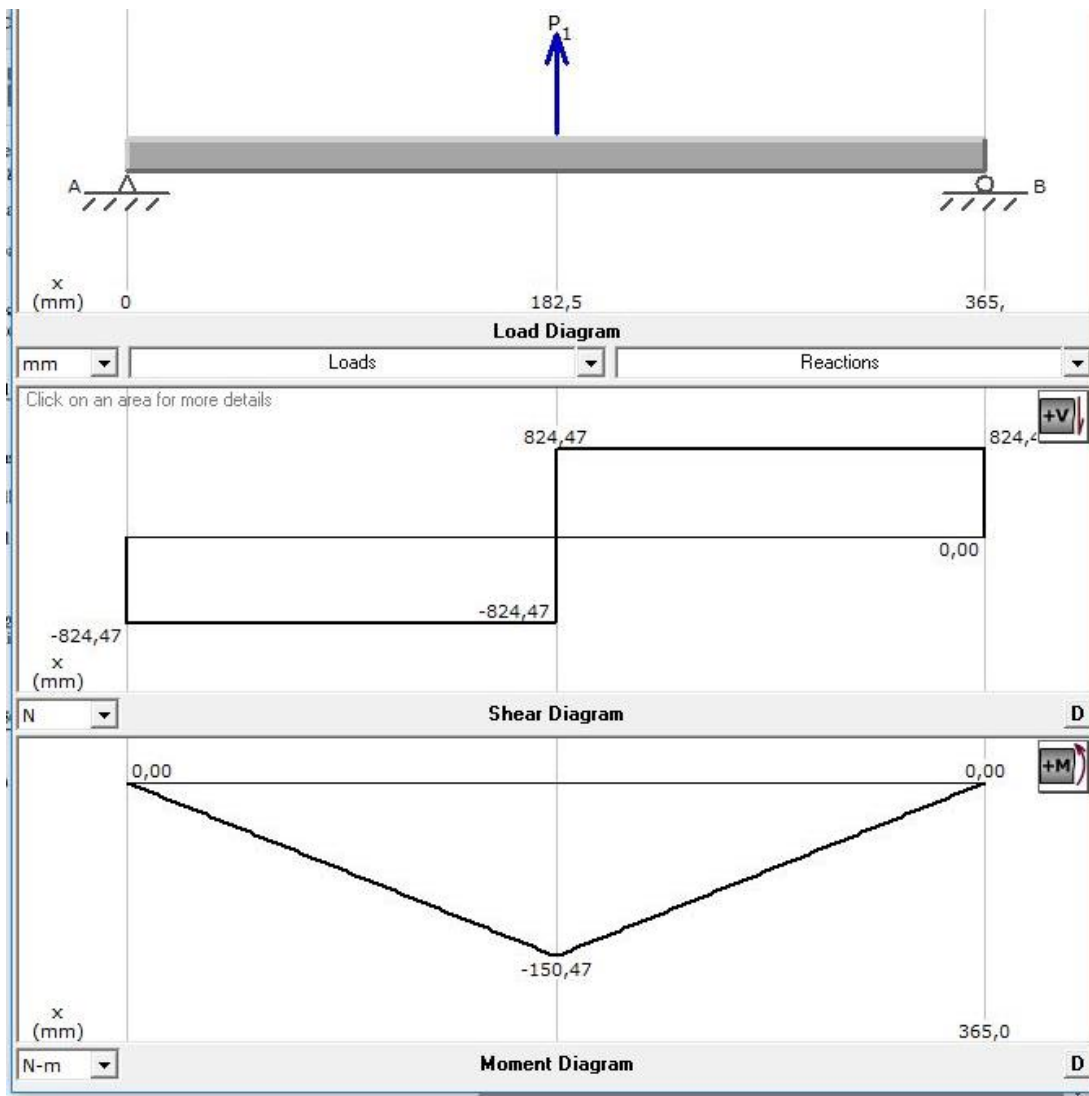
Se calcula el momento flector generado por la carga axial en el tornillo sin fin, y se realizan los diagramas de fuerza cortante y momento flector en el plano y-x (ver Figura 46) y en el plano z-x (ver Figura 47), para posteriormente determinar el diámetro mínimo del tornillo sin fin.

$$M_t = W_{xw} \cdot \frac{d_1}{2}$$

$$M_t = 132.19[Nm]$$



**Figura 46.** Diagrama de fuerza cortante y momento flector en el plano y-x



**Figura 47.** Diagrama de fuerza cortante y momento flector en el plano z-x

El momento máximo en el plano y-x es  $M_1=263.54$  [Nm] y en el plano z-x es  $M_2=150.47$  [Nm], y una reacción tangencial  $F_t=824.47$  [N], a continuación se determina el momento resultante y posterior a ello el respectivo análisis a fatiga para determinar el diámetro mínimo del eje del tornillo sin fin.

$$Mr = \sqrt{M_1^2 + M_2^2}$$



$$Mr = 303.47[Nm]$$

Se realiza el análisis de falla a fatiga aplicando la ecuación (21) de Soderberg:

$$\frac{1}{FS} = \frac{\sigma_m}{Sy} + \frac{\sigma_a}{Se} \quad (21)$$

*Material : Acero AISI 4340*  $Su = 1200[MPa], Sy = 900[Mpa]$

$$\sigma_b = \frac{32Mr}{\pi \cdot d^3}$$

$$\sigma_{min} = -\sigma_b$$

$$\sigma_{max} = \sigma_b$$

$$\sigma_m = k_f \left( \frac{\sigma_{max} + \sigma_{min}}{2} \right)$$

$$\sigma_a = k_f \left( \frac{\sigma_{max} - \sigma_{min}}{2} \right)$$

$$k_f = 1 + q(k_t - 1)$$

$$Se = k_a \cdot k_b \cdot k_c \cdot k_d \cdot Se'$$

$$Se' = 0.5 Su$$

$$k_a = a Su^b$$

$$k_b = \left( \frac{d}{7.62} \right)^{-0.107} \quad 2.79 \leq d \leq 51mm$$

$$k_c = 1 \text{ para flexión}$$

$$k_d = 1 \text{ para temperatura ambiente } 20^\circ C$$

Dónde:

- $M_r$  momento resultante [Nm]
- $d$  diámetro del eje del tornillo [mm]
- $n$  factor de seguridad ( $n=2$ )
- $\sigma_m$  esfuerzo medio
- $\sigma_a$  esfuerzo alternante
- $k_t$  factor de concentración del esfuerzo nominal, con  $r=1.5$ ,  $d=35$ ,  $D/d=2$   $k_t=2.3$  (ver Figura 43)
- $q$  sensibilidad a la muesca, con  $r=1.5$ ,  $q=0.85$  (ver Figura 44)
- $k_f$  factor de concentración del esfuerzo por fatiga
- $S_u$  resistencia última, acero AISI 4340 [MPa] (ver Anexo C)
- $S_e$  límite de resistencia a la fatiga [MPa]
- $k_a$  factor de modificación de la condición superficial, para maquinado (ver Tabla 23)
- $k_b$  factor de modificación de la tamaño, se asume un  $d=35$  [mm]
- $k_c$  factor de modificación de la carga
- $k_d$  factor de modificación de temperatura
- $S_e'$  límite de resistencia a la fatiga en viga rotatoria [MPa]

$$k_f = 2.1$$

$$\sigma_m = 0$$

$$\sigma_a = \frac{3091}{d^3}$$

$$S_e' = 600 \text{ [MPa]}$$

$$k_a = 0.69$$

$$k_b = 0.85$$

$$S_e = 351.15 \text{ [MPa]}$$

$$d = 30 \text{ [mm]}$$

El diámetro  $d=30$  [mm] determinado por el criterio de fatiga es satisfactorio porque el diámetro del eje del tornillo sin fin se encuentra del rango establecido.

### Selección de los rodamientos para el tornillo sin fin

Se determinará la carga radial que induce una reacción de empuje, y posteriormente se calculará la clasificación de carga de catálogo usando la ecuación (22) para realizar la respectiva selección del rodamiento. Se usarán rodamientos cilíndricos cónicos.

$$C = F \cdot L^{1/a} \quad (22)$$

$$Fr = \frac{Wr_w}{2} = 1081.88 \text{ [N]}$$

$$Ft = 824.47 \text{ [N]}$$

$$F = \sqrt{Fr^2 + Ft^2}$$

$$L = \frac{L_D \cdot n_d \cdot 60}{10^6}$$

Dónde:

- $Fr$  carga radial
- $Ft$  carga tangencial
- $F$  carga resultante
- $C$  clasificación de carga de catálogo [KN]

- $L$  vida nominal del rodamiento
- $a$  factor de rodamientos ( $a=10/3$  para rodillo cónico)
- $L_d$  vida deseada [h]
- $nd$  velocidad deseada [rpm]

$$F = 1.36 \text{ [KN]}$$

$$L = 0.32$$

$$C = 1.04 \text{ [KN]}$$

Se selecciona un rodamiento NTN 30205 (ver Anexo D) con una carga estática de 12 KN, cumpliendo con la carga requerida.

### 4.3. Diseño del molde metálico

Para el diseño de la coquilla, teniendo en cuenta la selección del material como el acero ASTM A36, se estima los siguientes parámetros para su diseño:

- Transferencia de calor
- Colado en el molde metálico

#### 4.3.1. Diseño del molde metálico por transferencia de calor

Por las características térmicas que presenta el molde metálico se lo puede definir como un intercambiador de calor, para su diseño se aplicara la transferencia de calor.

##### A. Calor contenido en el metal fundido

Para el cálculo del espesor del molde metálico se determinó que los semiproductos a fundir son un cilindro y un prisma. Además en el diseño por transferencia de calor se considerará la mitad del molde metálico por estar compuesta de dos partes simétricas.

### a. Calor contenido en el cilindro

Las dimensiones del cilindro son un diámetro de 80 [mm] y una altura de 200 [mm], para el diseño se considera la contracción del aluminio 1.3 % por lo tanto se tiene un diámetro de 81.04 [mm] y una altura de 202.6 [mm].

Para el cálculo del calor contenido en el metal fundido se usará la siguiente ecuación (23) que corresponde a la sumatoria del calor sensible y el calor latente:

$$Q = m \cdot L + m \cdot c_p \cdot (T_v - T_s) \quad (23)$$

Dónde:

- $Q$  calor contenido en el metal fundido [W.s]
- $m$  masa del metal fundido en el cilindro [kg]
- $L$  calor latente de fusión del aluminio 397 000 [W.s/kg]
- $c_p$  calor específico del aluminio 920 [W.s/kg°K]
- $T_v$  temperatura de vertido del aluminio 710 [°C]
- $T_s$  temperatura de desmoldeo del aluminio 300 [°C]

$$m = \rho \cdot V$$

Dónde:

- $m$  masa del metal fundido [kg]
- $\rho$  densidad del aluminio 2700 [kg/m<sup>3</sup>]
- $V$  volumen del cilindro [m<sup>3</sup>]

$$V = \pi \cdot r^2 \cdot h$$

$$V = \pi(0.04052)^2(0.2026)$$

$$V = 1.045 \times 10^{-3} [m^3]$$

$$m = 2700 \left[ \frac{kg}{m^3} \right] \times 1.045 \times 10^{-3} [m^3]$$

$$m = 2.82 [kg]$$

$$Q = (2.822 \text{ kg})(397000 \text{ Ws/kg}) + (2.822 \text{ kg}) \left( 920 \frac{\text{Ws}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \right) (710^\circ\text{C} - 300^\circ\text{C})$$

$$Q = 2.18 \times 10^6 [W \cdot s]$$

### b. Calor contenido en el prisma

Las dimensiones del prisma son 50 [mm] x 50 [mm] x 200 [mm], considerando la contracción las nuevas medidas son 50.65 [mm] x 50.65 [mm] x 202.6 [mm].

Se usarán las ecuaciones citadas para el cálculo del calor contenido en el cilindro. A continuación se muestran los resultados obtenidos:

$$V = 5.198 \times 10^{-4} [m^3]$$

$$m = 1.403 [kg]$$

$$Q = 1.086 \times 10^6 [W \cdot s]$$

### B. Tiempo de desmoldeo

En el presente proyecto se realiza el cálculo del tiempo de desmoldeo o solidificación para determinar el calor que la coquilla disipará durante este período.

#### a. Tiempo de desmoldeo del cilindro

Para calcular el tiempo de desmoldeo se usará la siguiente ecuación (24):

$$t_m = \left( \frac{V}{A} \right)^2 \left[ \frac{\rho_m (c_p (T_v - T_s) + L) * \sqrt{\pi a}}{2k(T_s - T_o)} \right]^2 \quad (24)$$

Dónde:

- $t_m$  tiempo de desmoldeo [s]
- $V$  volumen del cilindro [m<sup>3</sup>]
- $A$  área que contiene al volumen [m<sup>2</sup>]
- $\rho_m$  densidad del aluminio 2700 [kg/m<sup>3</sup>]
- $c_p$  calor específico del aluminio 920 [W.s/kg°K]
- $T_v$  temperatura de vertido del aluminio 710 [°C]
- $T_s$  temperatura de solidificación del aluminio 300 [°C]
- $L$  calor latente de fusión del aluminio 397 000 [W.s/kg]
- $a$  termodifusividad de la coquilla  $1.47 \times 10^{-5}$  [m<sup>2</sup>/s]
- $k$  conductividad térmica de la coquilla ,Acero ASTM A36 54 [W/m°K]
- $T_o$  temperatura de precalentamiento de la coquilla 200 [°C]

$$A = 2\pi r^2 + 2\pi r h$$

$$A = 2\pi(0.04052)^2 + 2\pi(0.04052)(0.2026)$$

$$A = 0.062 \text{ [m}^2\text{]}$$

$$t_m = \left( \frac{1.045 \times 10^{-3}}{0.062} \right)^2 \left[ \frac{(2700)(920(710 - 300) + 397000) * \sqrt{\pi(1.47 \times 10^{-6})}}{2(54)(300 - 200)} \right]^2$$

$$t_m = 558 \text{ [s]} = 9 \text{ [min]}$$

El calor contenido en el cilindro que debe disipar la coquilla en el tiempo de desmoldeo se calcula con la ecuación (25):

$$q = \frac{Q}{t_m} \quad (25)$$

$$q = 4.42 \times 10^4 [W]$$

### **b. Tiempo de desmoldeo del prisma**

Para el cálculo del tiempo de desmoldeo en el prisma, se usarán las mismas formulas citas para el cilindro. A continuación se muestran los resultados obtenidos:

$$A = (4 \times 0.05065 \times 0.2026) + (2 \times 0.05065 \times 0.05065)$$

$$A = 0.046 [m^2]$$

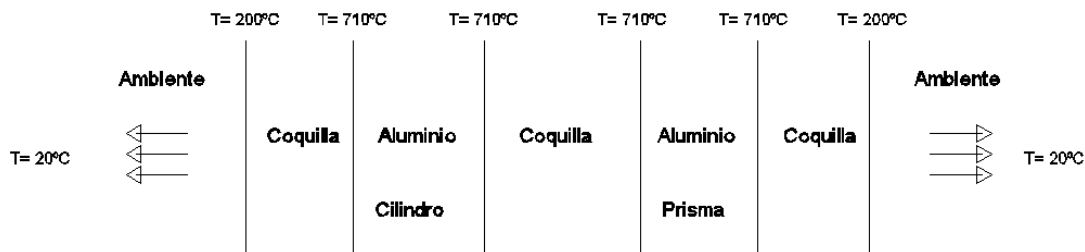
$$t_m = 251 [s] = 4 [min]$$

$$q = 4.94 \times 10^4 [W]$$

### **C. Espesor de la coquilla**

Se analiza la transferencia de calor por conducción en el espesor de la coquilla en el momento que se vierte el material fundido, se conoce la temperatura de precalentamiento del molde 200 [°C] y la temperatura de vertido del aluminio 710 [°C], la temperatura ambiente 20 [°C] (ver Figura 48).



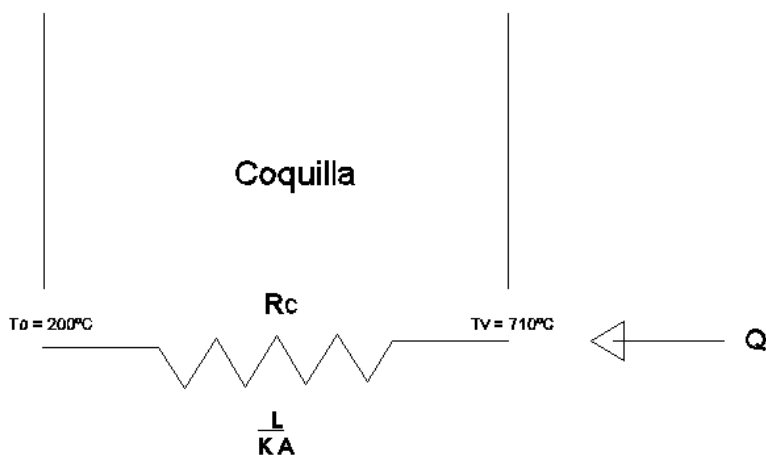


*Figura 48.* Diagrama de transferencia de calor

**a. Espesor de la coquilla en base al cilindro**

Para determinar el espesor de la coquilla, se analiza el diagrama de transferencia de calor (ver Figura 49) considerando lo siguiente:

- La transferencia de calor es en estado estable
- Se tiene una resistencia térmica por conducción entre la temperatura en el borde externo de la coquilla que corresponde a la temperatura de precalentamiento de la coquilla  $T_o=200$  [ $^\circ\text{C}$ ], y la temperatura en el borde interno de la coquilla que corresponde en el peor de los casos a la temperatura de vertido de metal fundido  $T_v=710$  [ $^\circ\text{C}$ ], como se muestra en la Figura 49.
- La transferencia de calor por convección es natural
- La transferencia de calor por radiación es despreciable al no ser un cuerpo negro



**Figura 49.** Diagrama de transferencia de calor del cilindro

Analizando el diagrama de transferencia de calor a continuación se cita la siguiente ecuación (26) para la conducción de calor en a través de una pared plana:

$$q = \frac{T_v - T_0}{R_c} \quad (26)$$

$$q = \frac{T_v - T_0}{\frac{L_c}{A \cdot k_c}}$$

$$L_c = \frac{T_v - T_0}{\frac{q}{A \cdot k_c}}$$

Dónde:

- $L_c$  espesor de la coquilla [m]
- $T_v$  temperatura de vertido [ $^\circ\text{C}$ ]
- $T_0$  temperatura de precalentamiento de la coquilla [ $^\circ\text{C}$ ]

- $q$  calor contenido en la mitad del cilindro [W]
- $A$  área de contacto entre la mitad coquilla y el metal fundido [m<sup>2</sup>]
- $k$  conductividad térmica de la coquilla [W/m°K]

$$L_c = \frac{T_v - T_0}{\frac{\frac{q}{2}}{\pi \cdot r \cdot h \cdot k_c}}$$

$$L_c = \frac{710 - 200}{\frac{4.418 \times 10^4}{\frac{2}{\pi(0.04052)(0.2026)(54)}}}$$

$$L_c = 32 [mm]$$

#### b. Espesor del prisma

Realizando el respectivo análisis de la transferencia de calor en el prisma, se obtuvo el siguiente resultado:

$$L_c = \frac{T_v - T_0}{\frac{\frac{q}{2}}{a \cdot h \cdot k_c}}$$

$$L_c = \frac{710 - 200}{\frac{4.944 \times 10^4}{\frac{2}{(0.05065)(0.2026)(54)}}}$$

$$L_c = 23 [mm]$$

El espesor de la coquilla no es nunca inferior a 15 [mm]. Corresponde en general a tres o cuatro veces el espesor medio de la pieza. No obstante, no rebasará nunca los 150 [mm]. (Coste, 1962, pág. 136)

De acuerdo a la referencia cita anteriormente el espesor de la coquilla será de 75 [mm], resultado de sumar el radio del cilindro y la longitud del espesor calculada del cilindro obtenido en esta sección, encontrándose dentro de los parámetros recomendados para el espesor de una coquilla.

#### 4.3.2. Colado en el molde metálico

Para el colado de la coquilla se considera los siguientes elementos:

- Diseño de un alimentador para la cavidad del cilindro
- Diseño de un alimentador para la cavidad del prisma

##### A. Diseño del alimentador del cilindro

Para el diseño del alimentador se determina el tiempo de colado, para molduras medianas y grandes con una masa de hasta 1000 [kg] y un espesor de pared mayor a 80 [mm] se usa la siguiente ecuación (27):

$$t = S \cdot \sqrt[3]{G \cdot \delta} \quad (27)$$

Dónde:

- $t$  tiempo de colado [s]
- $S$  coeficiente que tiene en cuenta el espesor de las paredes de la moldura [S=1.7]
- $G$  masa de la moldura [2.822 kg]
- $\delta$  espesor de la moldura [0.08m]

$$t = (1.7) \sqrt[3]{(2.822)(0.08)}$$

$$t = 1.04[s]$$

En el cálculo de la sección total del alimentador, se usará la siguiente ecuación (28):

$$F_{alim} = \frac{G}{\rho t \mu \sqrt{2gH_{cal}}} \quad (28)$$

Dónde:

- $F_{alim}$  sección total del alimentador [ $m^2$ ]
- $G$  masa del cilindro [2.822 kg]
- $\rho$  densidad del aluminio [2700 kg/ $m^3$ ]
- $t$  tiempo de colado [1.035 s]
- $\mu$  coeficiente de resistencia [0.88] (Titov & Stepanov, 1981, pág. 158)
- $g$  aceleración de la gravedad [9.8  $m/s^2$ ]
- $H_{cal}$  altura del canal vertical desde el lugar de suministro de la masa fundida al molde [3.1 cm] (Titov & Stepanov, 1981, pág. 157)

$$F_{alim} = \frac{2.822}{(2700)(1.035)(0.88)\sqrt{2(9.8)(0.031)}}$$

$$F_{alim} = 1.472 \times 10^{-3} [m^2]$$

$$F_{alim} = 1472 [mm^2]$$

A continuación se determina el diámetro del alimentador:

$$F_{alim} = \frac{\pi d^2}{4}$$

$$d = \sqrt{\frac{4F_{alim}}{\pi}}$$

$$d = \sqrt{\frac{4(1472)}{\pi}}$$

$$d = 43.29 [mm]$$

## B. Diseño del alimentador del prisma

Para el diseño del alimentador del prisma se usan las formulas citadas en el diseño del alimentador del cilindro, obteniendo los siguientes resultados:

$$t = 0.701[s]$$

$$F_{alim} = 1080 [mm^2]$$

$$d = 37 [mm]$$

Debido las dimensiones obtenidas en los alimentadores del cilindro y del prisma respectivamente, se genera un cambio de sección que provocaría la formación de rechupes en sus esquinas y para evitar la formación de este defecto en el modelo fundido, se establece alargar la altura del cilindro y del prisma hasta la superficie superior del molde, adicionalmente este segmento cumpliría como un pequeña mazarota, previniendo de esta manera la formación de rechupes en el modelo.

## 4.4. Diseño de una prensa manual

Los componentes de la prensa manual que se diseñarán son los siguientes:

- Diseño de los ejes que conectan las placas móviles y fijas
- Diseño de la placa móvil
- Diseño de las placas externas o fijas
- Diseño del tornillo de ajustaje y sistema de accionamiento
- Selección de pernos para las placas

#### 4.4.1. Diseño de los ejes

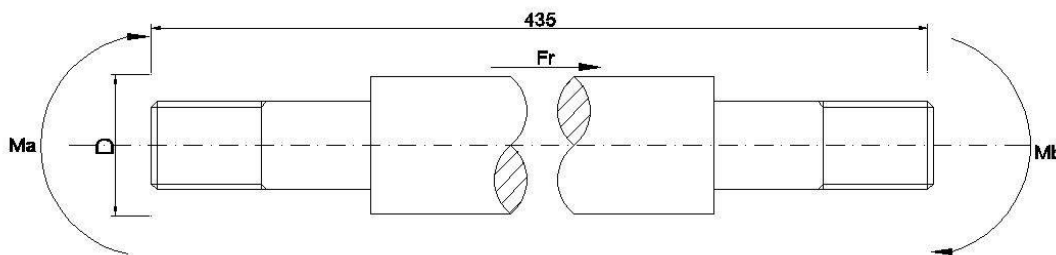
Los ejes permiten el deslizamiento del portamolde en el cual se encuentra sostenido la mitad del molde, su principal función es facilitar la apertura y cierre del molde metálico en sus dos etapas antes y después de la fundición.

El material que se usará en la construcción de los ejes es el acero al carbono 1018, debido a sus favorables propiedades mecánicas que permiten tener unas condiciones óptimas de trabajo debido al servicio al que van a estar sometidos, presentando una resistencia elevada, su ductilidad es buena y no es un material frágil, posee un  $S_y = 31 \text{ [kg/mm}^2\text{]} = 304.11 \times 10^6 \text{ [N/m}^2\text{]}$ .

Debido a su alta tenacidad y baja resistencia mecánica, es adecuada para componentes de maquinaria.

El diseño de los ejes va a estar sujetos a un análisis estático ya que no existen esfuerzos por fatiga, y se recurre a la teoría de la energía de deformación o llamada también de Von Misses o Von Misses Hencky. (Shigley, 2008, pág. 211)

En la Figura 50, se muestra la longitud del eje, el momento generado por la flexión y la fuerza de rozamiento  $F_r$  que se genera por el deslizamiento del conjunto molde y portamolde.



**Figura 50.** Diagrama de cuerpo libre del eje

Se desprecia el peso propio del eje ya que va actuar como una columna corta, los esfuerzos que se concentran en la mitad del eje debido al peso del portamolde y la mitad del molde generan

flexión mientras que por acción de la fricción se genera tracción, dichos esfuerzos son  $\sigma_f = \frac{M.C}{y}$ ,  $\sigma_r = \frac{Fr}{A}$ , respectivamente.

Existe la disposición de 4 ejes macizos en la prensa móvil principalmente para darle mayor sostenibilidad y rigidez al conjunto, donde la carga total generada por la flexión para cada eje es el peso del portamolde y la mitad del molde, dividiéndola para 4 ya que se distribuye el peso sobre dichos ejes:

$$m = V * \rho$$

Dónde:

- $m$  masa de la coquilla y del porta-coquilla [kg]
- $V$  volumen de la coquilla y del porta-coquilla [ $m^3$ ]
- $\rho$  densidad de la fundición gris  $\rho = 7200$  [ $kg/m^3$ ] y del acero A36  $\rho = 7850$  [ $kg/m^3$ ]

A continuación se muestran los resultados obtenidos para la coquilla y el porta-coquilla:

$$\rho_c = 7200 \text{ [Kg/m}^3 \text{]}$$

$$\rho_p = 7850 \text{ [Kg/m}^3 \text{]}$$

$$V_c = 5,91 \times 10^{-3} \text{ [m}^3 \text{]}$$

$$V_p = 1,65 \times 10^{-3} \text{ [m}^3 \text{]}$$

$$m_c = 42,55 \text{ [Kg]}$$

$$m_p = 12,95 \text{ [Kg]}$$

$$m_T = m_c + m_p$$

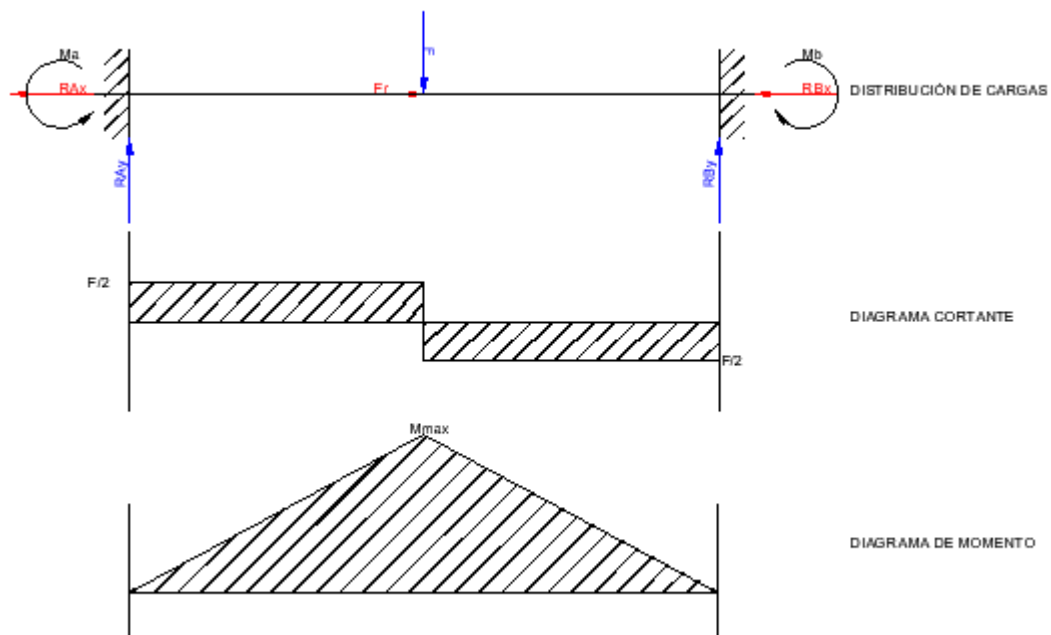
$$m_T = 55,5 \text{ [Kg]}$$

El peso de 55,5 [Kg] se distribuye para cada eje, siendo 13,88 [Kg] la carga que se encuentra presente en cada eje.

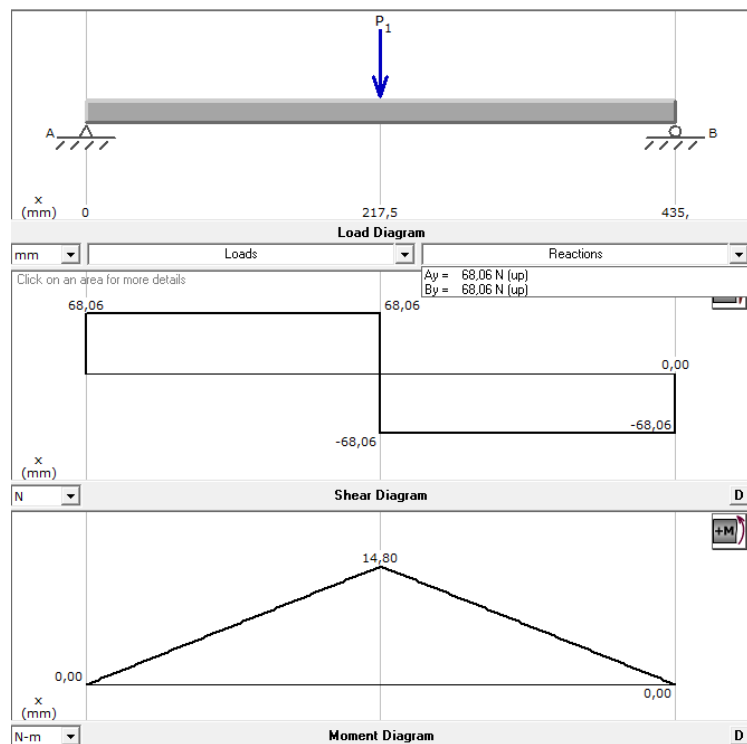


$$F = 136,12 \text{ [N]}$$

Representando la carga presente sobre el eje se tiene el siguiente DCL (ver Figura 51), con los respectivos diagramas de cortante y momento, se calculó las reacciones de los apoyos, el cortante máximo y momento máximo, como se indica en la Figura 52.



**Figura 51.** Diagrama de distribución de cargas, cortante y momento flector



**Figura 52.** Resultados de los esfuerzos presentes en los ejes

La fuerza de fricción que se genera en la superficie de los ejes producto de deslizamiento del molde y del portamolde es la misma en los 4 ejes, y se la calcula con la siguiente ecuación:

$$Fr = \mu * N$$

Dónde:

- $N$  fuerza normal que existe en los ejes 136,12 [N]
- $\mu$  coeficiente de fricción entre las superficies de contacto  $\mu = 0,115$ . (Dietsche, 2005, pág. 43)

$$Fr = 0,115 * 136,12$$

$$Fr = 15,65 [N]$$

Realizando el análisis del diagrama de distribución de cargas se tiene lo siguiente:

$$\sum F_x = 0$$

$$Fr - RA_x - RB_x = 0$$

$$RA_x = \frac{Fr * L2}{L1 + L2} \quad RB_x = \frac{Fr * L1}{L1 + L2}$$

Dónde:

- $RA_x$  reacción en el punto A en el eje X
- $Fr$  fuerza de fricción que se genera por el deslizamiento del deslizamiento del molde y del portamolde.
- $L2$  longitud donde se encuentra ubicada la fuerza F.

$$RA_x = 7,83 [N] \quad RB_x = 7,83 [N]$$

Mientras que para el eje Y se obtiene lo siguiente:

$$\sum F_y = 0$$

$$F - RA_y - RB_y = 0$$

$$RA_y = 68,06 [N] \quad RB_y = 68,06 [N]$$

Dónde:

- $RA_y$  y  $RB_y$  reacciones de los apoyos de los ejes.

La fuerza cortante es:

$$F = 68,06 [N]$$

El momento flector máximo que genera la carga es:

$$M = 14,8 [Nm]$$

Analizando los esfuerzos a los que están sometidos los ejes cargados, existe esfuerzo de tracción y flexión debido a la carga del peso del portamolde y la mitad del molde. (Shigley, 2008, págs. 86,87)

$$\sigma_f = \frac{M * C}{I} \quad \sigma_T = \frac{Fr}{A}$$

$$C = \frac{D}{2}$$

$$I = \frac{\pi * D^4}{64}$$

$$A = \frac{\pi * D^2}{4}$$

Dónde:

- $\sigma_f$  esfuerzo de flexión [ $N/m^2$ ]
- $M$  momento flector [ $Nm$ ]
- $C$  distancia a las fibras externas [m]
- $I$  es el momento de inercia del eje [ $m^4$ ]

- $\sigma_T$  es el esfuerzo de tracción [N/m<sup>2</sup>]
- $Fr$  es la fuerza de fricción [N]
- $A$  es el área de la sección transversal del eje [m<sup>2</sup>]

Aplicando la teoría de Von Misses, donde los esfuerzos máximos en la sección transversal corresponden a flexión y tracción, son despreciables los esfuerzos mínimos ya que los esfuerzos máximos son los que nos permitirán establecer un valor aproximado de falla del material, se tiene lo siguiente:

$$\sigma_{\min}^{max} = \sigma_f \pm \sigma_T$$

$$\sigma_{max} = \frac{M * C}{I} + \frac{Fr}{A}$$

Se considera para el diseño los esfuerzos máximos que genera la carga presente en el eje, se procede a aplicar la teoría de Von Misses. (Shigley, 2008, págs. 214,216)

$$\sigma' = \sqrt{\sigma_{max}^2 - \sigma_{max} * \sigma_{min} + \sigma_{min}^2}$$

$$\sigma_{min} = 0$$

$$\sigma' = \sigma_{max} \quad \sigma' = \frac{S_y}{n}$$

$$\frac{S_y}{n} = \sigma_{max}$$

$$\frac{S_y}{n} = \frac{M * C}{I} + \frac{Fr}{A}$$

Dónde:

- $S_y$  esfuerzo de fluencia del acero 1018 ( $S_y = 31 \text{ kg/mm}^2 = 304.11 \times 10^6 \text{ N/m}^2$ )
- $n$  factor de seguridad  $n = 2$

Resolviendo se obtiene un diámetro para el eje:

$$D = 0,0099 \text{ m} = 9.9 \text{ mm}$$

Debido a las condiciones de temperatura que va a estar presente durante la operación del conjunto molde y prensa manual se selecciona un eje de diámetro de 1 pulgada principalmente este le otorgará mayor estabilidad al sistema y evitará posibles deformaciones debido a la temperatura que se encuentra el sistema y deflexiones ocasionadas por las cargas.

Cada eje tiene una tuerca M 16 en su extremo con el fin de evitar el deslizamiento de los ejes sobre las placas en donde se asientan, cabe mencionar que las tuercas solo sirven de tope y no existe algún esfuerzo considerable que deban soportar.

Los ejes deben soportar un peso de 13,88 [kg] que produciría una deflexión máxima originando que la excentricidad de los moldes se vea afectada, razón por la cual se considera el análisis de deflexión del eje como una viga simplemente apoyada (ver Figura 51).

$$V_{max} = -\frac{P * L^3}{48 * E * I}$$

Dónde:

- $V_{max}$  deflexión máxima que soporta el eje [m]
- $P$  carga presente en el eje 136,12 [N]
- $L$  longitud del eje 435 [mm]

- $E$  módulo de Young del Acero 1018 205 [GPa]= 204774.28 [N/mm<sup>2</sup>]
- $I$  inercia del eje 20431.71 [mm<sup>4</sup>]

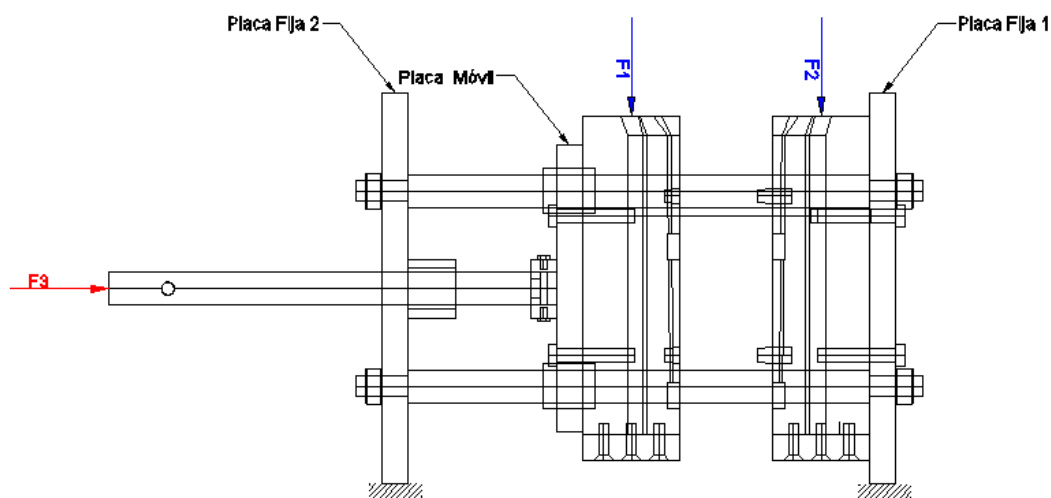
$$V_{max} = -0.055 [mm]$$

De acuerdo al valor obtenido la deflexión máxima que tendría el eje es de -0.055 [mm] que es un valor muy bajo por lo que se garantiza que los ejes no fallarían por deflexión al ser un valor despreciable se mantendría la concentricidad en la unión de las dos mitades del molde.

#### 4.4.2. Diseño de las placas externas

Como se muestra en la Figura 53, las placas externas (fijas 1 y 2) sirven de bastidor al sistema de la prensa manual donde se encuentran los ejes guías, la mitad del molde en una de las placas así como también la placa móvil donde se encuentra alojada la otra mitad del molde, permite darle estabilidad a toda la prensa manual y van a estar fijada a una base.

El material que se usaría para la construcción de las placas externas y la placa móvil es el acero A36, que posee un  $S_y = 36$  [Ksi] =  $248 \times 10^6$  [N/m<sup>2</sup>], debido principalmente a la disponibilidad en el mercado y por poseer propiedades ideales de servicio a la que estarán sometidas durante su utilización.



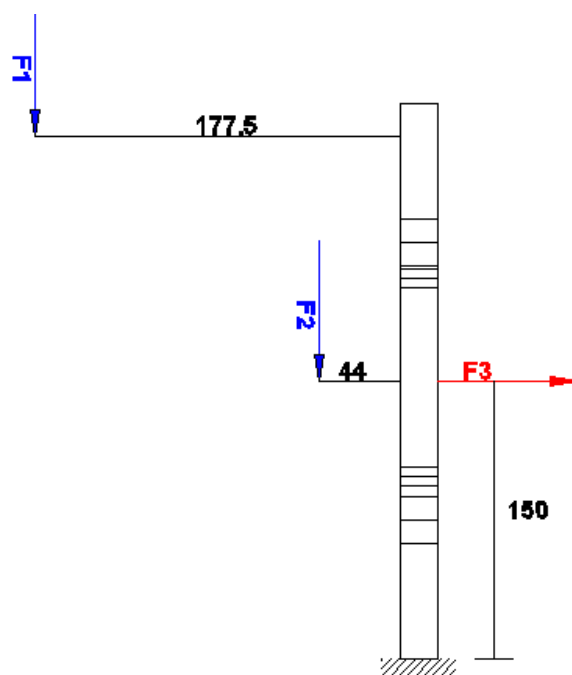
**Figura 53.** Esquema de las principales fuerzas en las placas

#### 4.4.3. Diseño de las placas fijas

Para el diseño de las placas externas de la prensa manual se analizaría estáticamente según la teoría de Von Mises, se selecciona la placa que va a estar más cargada la cual soportara esfuerzos más críticos como son esfuerzos de compresión y flexión.

Para la placa fija 1 se considera las fuerzas presentes como se muestra en la Figura 54, donde la flexión se genera debido al peso de las mitades de los moldes ( $F_1$  y  $F_2$ ) provocados por los brazos que originan un momento sobre la placa, y el esfuerzo de compresión ocasionado por la fuerza  $F_3$  que transmite dicha fuerza sobre el área de contacto entre las caras de la placa móvil y del molde metálico.



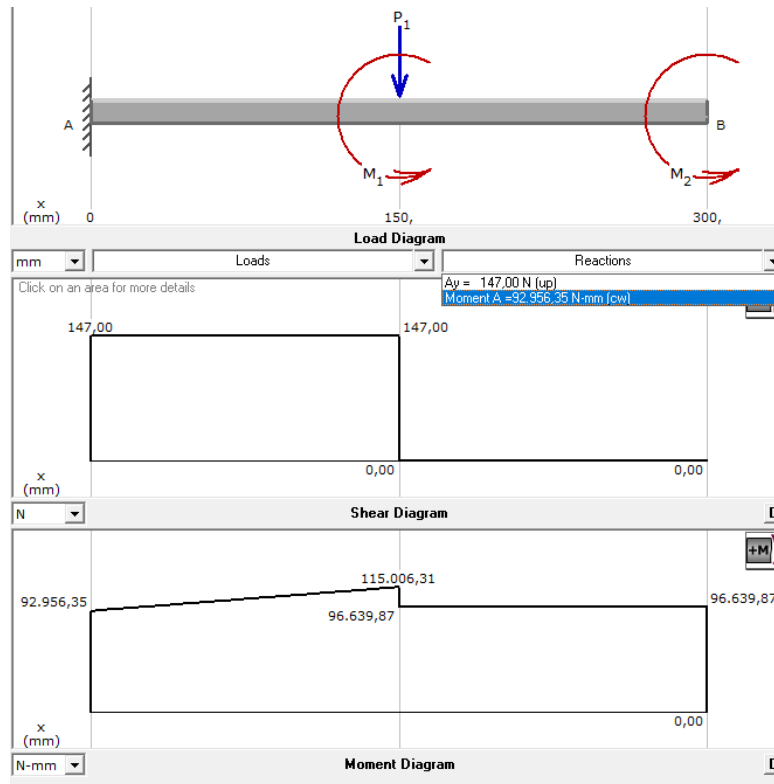


**Figura 54.** Esquema de cargas en la placa fija 1

Dónde:

- $F1$  fuerza provocada por la mitad del molde metálico más la placa móvil  $F1=55.5 \text{ [Kg]} = 544.45 \text{ [N]}$
- $F2$  fuerza que provoca la mitad del molde metálico en la placa fija  $F2 = 42.55 \text{ [Kg]} = 417.42 \text{ [N]}$
- $F3$  fuerza de ajuste para cerrar el molde metálico  $F3 = 15 \text{ [Kg]} = 147 \text{ [N]}$  (Ergonautas.upv, s.f.)

En la siguiente Figura 55 se muestra los diagramas por cortante y momento flector.



**Figura 55.** Diagrama cortante y momento flector

Fuente: MD Solid

Para calcular los esfuerzos de flexión y compresión se usan las siguientes relaciones. (Shigley, 2008, págs. 87,94)

$$\sigma_f = \frac{M * C}{I} \quad \sigma_c = -\frac{3 * F}{2 * A}$$

$$I = \frac{b * h^3}{12}$$

Dónde:

- $\sigma_f$  esfuerzo de flexión [N/m<sup>2</sup>]

- $M$  momento flector máximo  $M_{max} = 115.01$  [Nm]
- $C$  distancia a las fibras externas [m]
- $I$  momento de inercia del eje  $y$ ,  $I = 2.73 \times 10^{-7}$  [m<sup>4</sup>]
- $\sigma_c$  esfuerzo de compresión [N/m<sup>2</sup>]
- $F$  fuerza de empuje para cerrar el molde metálico  $F = 147$  [N]
- $A$  área de compresión entre las dos caras del molde metálico y de la placa fija 1,  $A = 0.078175$  [m<sup>2</sup>]

$$\sigma_{min}^{max} = -\sigma_c \pm \sigma_f$$

$$\sigma_{min} = 0$$

$$\sigma_{max} = -\frac{3 * F}{2 * A} - \frac{M * C}{I}$$

$$\sigma_{max} = |-8428461.62| \left[ \frac{N}{m^2} \right]$$

Se considera para el diseño los esfuerzos máximos que genera la carga presente en el eje, se procede a aplicar la teoría de Von Misses.

$$\sigma' = \sqrt{\sigma_{max}^2 - \sigma_{max} * \sigma_{min} + \sigma_{min}^2}$$

$$\sigma' = \sigma_{max} \quad \sigma' = \frac{S_y}{n}$$

$$\sigma_{max} = \frac{S_y}{n}$$

Dónde:

- $S_y$  esfuerzo de fluencia del acero A36 ( $S_y = 248 \times 10^6 \text{ N/m}^2$ )
- $n$  factor de seguridad

$$n = \frac{S_y}{\sigma_{max}}$$

Resolviendo se obtiene un factor de seguridad de:

$$n = 29.42$$

Por el valor obtenido del factor de seguridad elevado, se concluye que la placa no fallaría debido a los esfuerzos que se presentan, además de la temperatura elevada que se transmitirá a través del molde metálico, garantiza que el material es el idóneo para este elemento.

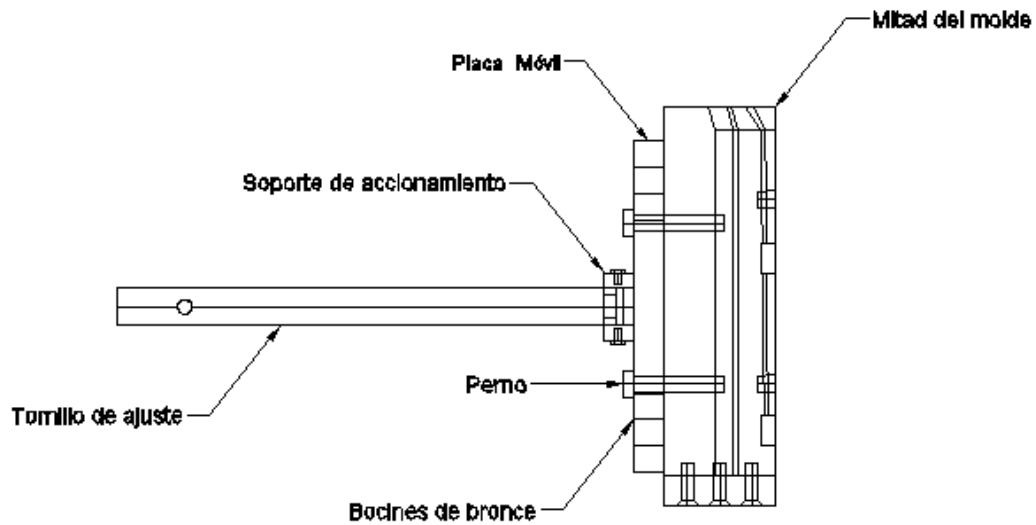
Para el diseño de la placa fija 2, los esfuerzos de compresión y flexión son mucho menores que los de la placa 1, razón por la cual se establece que la placa 2 tendría las mismas dimensiones y soportaría los mismos esfuerzos que la placa fija 1.

#### 4.4.4. Diseño de la placa móvil

Para el diseño de la placa móvil se toma en consideración el análisis que se realizó para el diseño de las placas fijas, determinando que la carga que va soportar producto del peso de la mitad del molde metálico no va a generar mayores esfuerzos como en el caso de la placa fija 1, razón por la cual se toma como apta la geometría y material como el apropiado para la fabricación de la placa móvil.

La función de la placa móvil es cerrar ambas cavidades mediante el deslizamiento provocado por el accionamiento del eje.

El conjunto de elementos que forma parte de la placa móvil se muestra en la Figura 56, se detalla a continuación:



*Figura 56.* Partes constitutivas de la placa móvil

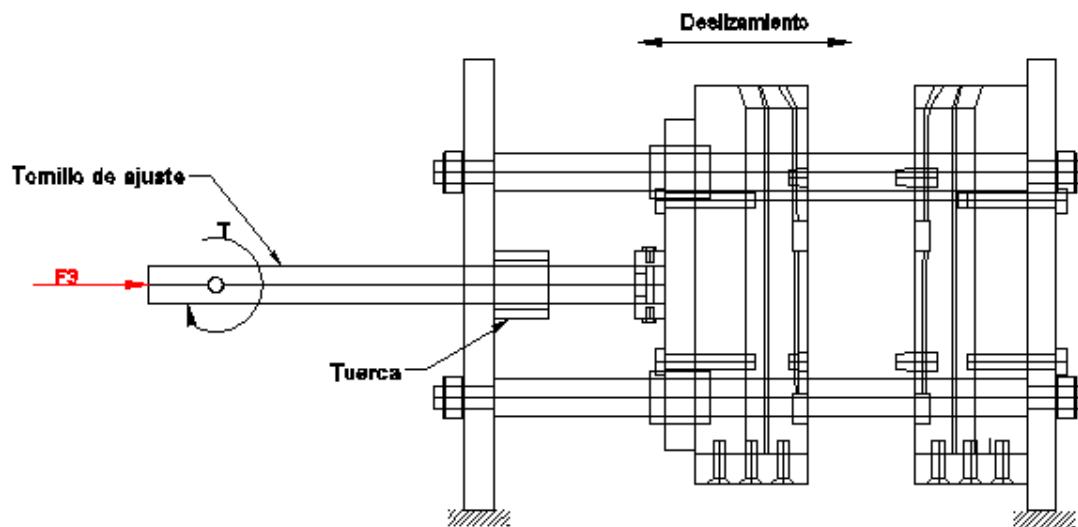
- Tornillo de ajuste
- Bocines de bronce
- Soporte de accionamiento
- Pernos

#### 4.4.5. Diseño del tornillo de ajuste

El tornillo de ajustaje utilizado para convertir el movimiento giratorio en movimiento lineal y ejercer la fuerza ( $F_3 = 147 \text{ N}$ ) necesaria para lograr el deslizamiento a lo largo de los ejes. "Su

funcionamiento se basa en el principio clásico de la cuerda de tornillo y la tuerca con la que enlaza” (Mott, 2006, pág. 726)

Para el tornillo de ajustaje (de potencia) se considera una cuerda o rosca cuadrada ya que es más eficiente que la rosca Acme y la trapezoidal, donde se requiere un torque mínimo para lograr el deslizamiento de la placa móvil junto con la mitad del molde metálico como se muestra en la Figura 57.



**Figura 57.** Tornillo de ajuste y su funcionamiento

Se debe considerar que el material del tornillo debe poseer una alta resistencia mecánica y de desgaste, mientras que para la tuerca debe ser más dúctil y su resistencia mecánica no debe ser muy alta además permite una auto lubricación entre las superficies de contacto, de esta manera se considera que el tornillo va a estar diseñado de un acero AISI 1018 ( $S_y = 31 \text{ [kg/mm}^2\text{]} = 304,11 \times 10^6 \text{ [N/m}^2\text{]}$ ) y la tuerca de fundición gris ASTM 30 ( $S_y = 206 \times 10^6 \text{ [N/m}^2\text{]}$ ). Según Dobrovoslki propone trabajar con los esfuerzos permisibles que a continuación se describe (Dobrovoslki, pág. 471).

$$S_{d-ap} = \begin{cases} 12 \text{ a } 20 \text{ Mpa (tornillo de acero y tuerca de bronce)} \\ 8 \text{ MPa (tornillo de acero y tuerca de hierro fundido)} \end{cases}$$

Dónde:

- $S_{d-ap}$  esfuerzo de aplastamiento [MPa]

Para nuestro caso se considera como  $S_{d-ap} = 8 \text{ [MPa]}$  para seleccionar un diámetro aproximado en base a iteraciones realizadas, aplicando la siguiente relación se obtiene:

$$dm \geq \sqrt{\frac{2 * F}{\pi * \varphi * S_{d-ap}}}$$

Dónde:

- $F$  fuerza F3 necesaria para desplazar la carga [N]
- $\varphi$  factor constructivo para la tuerca  $\varphi = 2,15$  (Dobrovoslki, pág. 471)
- $S_{d-ap}$  esfuerzo de aplastamiento [MPa]

$$dm \geq 2,82 \text{ [mm]}$$

Debido al resultado obtenido en la primera iteración el diámetro es muy reducido y tras nuevas iteraciones se elige un diámetro de  $dm = 32 \text{ [mm]} = 1,25 \text{ [in]}$ , de donde se describe los siguientes parámetros dimensionales ver en la Tabla 26, garantizando una adecuada resistencia al desgaste superficial y al aplastamiento que soportaría el tornillo. (Norton, 2011, pág. 729)

**Tabla 26.**  
*Parámetros dimensionales básicos del tornillo*

<b>Dimensiones</b>	<b>Símbolo</b>	<b>In</b>	<b>mm</b>
Diámetro mayor	D	1,25	31,75
Diámetro de paso o diámetro medio	Dm	1,15	29,21
Diámetro menor	Dr	1,05	26,67
Paso	P	0,2	5,08
Numero de hilos	H	5	
Área de esfuerzo a tracción	A <sub>t</sub>	0,95 (in <sup>2</sup> )	612,9 (mm <sup>2</sup> )

#### **A. Par de torsión para deslizar el tornillo (avance)**

El tornillo necesita un par de torsión para girar contra el peso de la placa móvil más la mitad del molde metálico y desplazar en el sentido de avance, este par torsor se obtiene de la siguiente relación. (Mott, 2006, pág. 700)

$$T_s = \frac{F * dm}{2} * \left[ \frac{p + \pi * \mu * dm}{\pi * dm - \mu * p} \right]$$

Dónde:

- $T_s$  par torsor para girar y avanzar con el peso [Nm]
- $F$  fuerza F3 [N]
- $dm$  diámetro medio [mm]
- $p$  paso de la rosca [mm]
- $\mu$  coeficiente de fricción  $\mu = 0,15$

$$T_s = 0,445 [Nm]$$



### B. Par de torsión para deslizar el tornillo (retroceso)

Una vez obtenido el torque necesario para girar contra la carga y desplazarla a lo largo de los ejes (avance) ahora es necesario desplazar esta carga en sentido contrario (retroceso), este par de torsión se calcula con la siguiente relación (Mott, 2006, pág. 701):

$$T'_s = \frac{F * dm}{2} * \left[ \frac{\pi * \mu * dm - p}{\pi * dm + \mu * p} \right]$$

Donde:

- $T'_s$  es el par torsor necesario para retroceder con la carga [Nm]

$$T'_s = 0,201 [Nm]$$

### C. Eficiencia del tornillo

La eficiencia para transmitir una fuerza mediante el tornillo, se expresa como la relación entre el trabajo que sale para el trabajo que entra, y se aplica la siguiente ecuación (Norton, 2011, pág. 733):

$$e = \frac{F * p}{2\pi * T_s}$$

Dónde:

- $e$  eficiencia del tornillo
- $F$  fuerza F3 [N]
- $p$  paso de la rosca [mm]
- $T_s$  par torsor para girar y avanzar con el peso [Nm]

$$e = 0,26$$

La eficiencia obtenida de 26% se la verifica en la Tabla 27, comprobando que se obtuvo un valor aceptable.

**Tabla 27.**  
*Eficiencia de cuerdas cuadradas*

Tamaño	Ángulo de avance (grad)	Eficiencia %
1/4 - 16	5.2	36
5/16 - 14	4.7	34
3/8 - 12	4.5	34
7/16 - 12	3.8	30
1/2 - 10	4.0	31
5/8 - 8	4.0	31
3/4 - 6	4.5	34
7/8 - 6	3.8	30
1 - 5	4.0	31
1 1/8 - 5	3.6	28
<b>1 1/4 - 5</b>	<b>3.2</b>	<b>26</b>
1 3/8 - 4	3.6	29
1 1/2 - 4	3.3	27

Fuente: (Norton, 2011, pág. 734)

#### **D. Dimensiones de la tuerca**

El material de la tuerca por lo general se recomienda que sea más suave que el material del tornillo, razón por la cual se toma un tornillo de acero y una tuerca de bronce y se emplea la relación de  $d * 1,5$  según la recomendación de (Norton, 2011, pág. 738)

$$L = 31,75 * 1,5 = 47,26 [mm]$$

Por lo tanto se establece que la longitud de la tuerca es de 45 [mm], teniendo el contacto suficiente entre las superficies del tornillo y de la tuerca.

Mientras que el espesor de la tuerca es igual a:

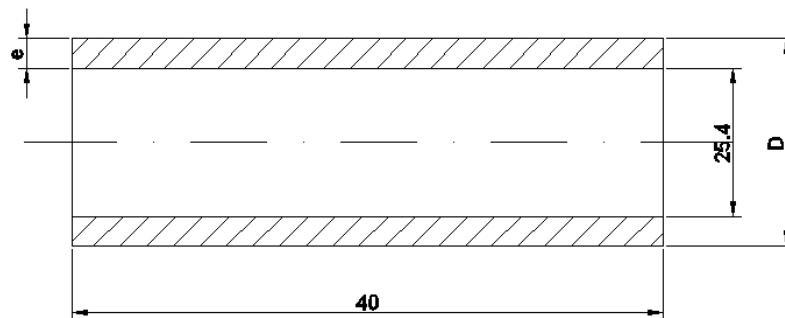
$$e = \frac{7}{8} * d$$

$$e = 27,78 [mm]$$

Por motivos de construcción se toma una medida de 42 [mm] de diámetro para la tuerca.

#### 4.4.6. Diseño los bocines

Los bocines permiten mejorar el deslizamiento de la placa móvil sobre los ejes, cuya principal característica es minimizar el rozamiento que existiría por contacto de los elementos, se selecciona el bronce por poseer gran ductilidad, alta elongación y auto lubricación (ver Figura 58). Por disponibilidad en el mercado se selecciona un bronce SAE 40 y posee un  $S_y = 93 \times 10^6 [N/m^2]$ .



*Figura 58.* Bocín de bronce y sus dimensiones

El bocín de bronce va a soportar el esfuerzo de compresión producto de las cargas que debe soportar al momento del deslizamiento de la placa móvil, y está dado por la siguiente ecuación (Shigley, 2008, pág. 86).

$$\sigma = \frac{F}{A}$$

Dónde:

- $F$  fuerza de compresión 147 [N]
- $A$  área de la sección transversal donde actúa la carga [m<sup>2</sup>]

$$A = e * L$$

Dónde:

- $e$  espesor del bocín [mm]
- $L$  longitud de apoyo sobre donde se asienta el bocín  $L = 0.020$  [m]

Según la teoría de Von Misses:

$$\sigma = \frac{S_y}{n}$$

Dónde:

- $n$  factor de seguridad  $n = 2$
- $S_y$  para el bronce el  $S_y = 93 \times 10^6$  [N/m<sup>2</sup>]

Despejado de las ecuaciones anteriores, se obtiene lo siguiente:

$$e = \frac{n * F}{S_y * L}$$

$$e = 0.04 \text{ [mm]}$$

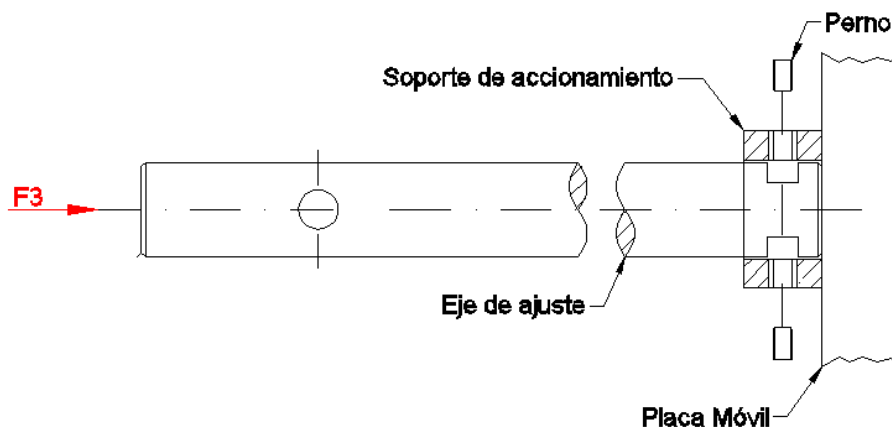
Debido a que el espesor calculado es despreciable, por disponibilidad en el mercado se adquiere bocines de 5 [mm] de espesor que permitirían un adecuado ensamble en la placa móvil, y evitar la fricción entre sus superficies.

#### 4.4.7. Diseño del soporte de accionamiento

El soporte de accionamiento es una pequeña placa que se encuentra unida a la placa móvil, y sirve para que se aloje el tornillo de ajustaje permitiendo transmitir la fuerza de empuje hasta la placa móvil.

Debido a la fuerza  $F_3$  necesaria para cerrar el molde (ver Figura 59) se produciría un aplastamiento entre las caras del soporte de accionamiento y la cara de la placa móvil, sin embargo debido a que el área del soporte es muy pequeña este aplastamiento es despreciable, razón por la cual no se hace más estimaciones de esfuerzos o cargas en el soporte.

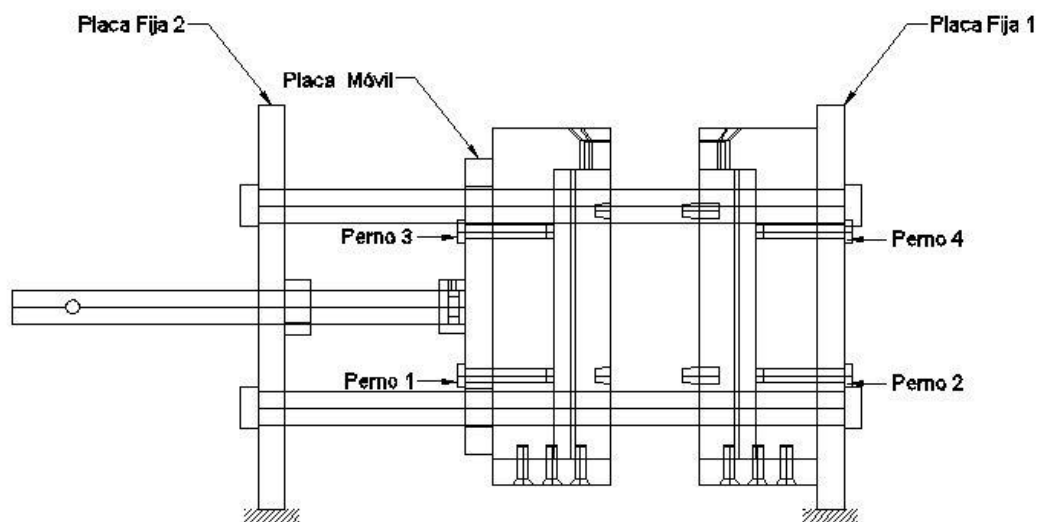
Sera construida con un acero A36 que posee un  $S_y = 248 \times 10^6$  [N/m<sup>2</sup>], debido principalmente a la disponibilidad en el mercado y por poseer propiedades ideales de servicio a la que estará sometido, su respectivo dimensionamiento se detalla en los planos de los anexos.



**Figura 59.** Partes del soporte de accionamiento

#### 4.4.8. Selección de los pernos

La placa fija 1 y la placa móvil se encuentran empernadas (ver Figura 60) con la mitad del molde metálico respectivamente, se usará pernos M12, paso 1.75 grado 8, para brindar mayor sujeción y garantizar una prolongada vida útil de sus elementos, además por su fácil adquisición en el mercado nacional.



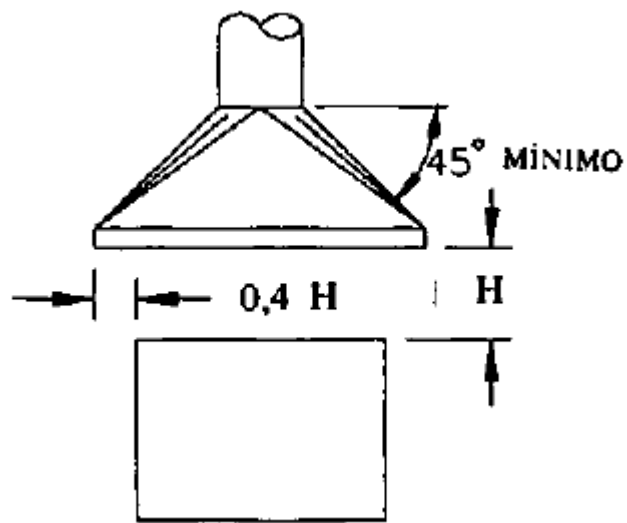
*Figura 60.* Selección de pernos

#### 4.5. Diseño del sistema de extracción de gases

Para el presente proyecto se diseñará una campana de techo (ver Tabla 9) con dos costados abiertos, la altura a la que se encontrará la campana al foco del horno es de 0.70 [m], las dimensiones donde se generan los gases son de 1.20 [m] de largo y 0.40 [m] de ancho. Al no existir elementos corrosivos, el material que se usará para la construcción son planchas de hierro galvanizado.

##### 4.5.1. Dimensiones de la campana

En el diseño de la campana, las dimensiones deben ser mayores al lugar donde se generan los gases, por tal razón se sobredimensionan por un factor de 0.4 a cada lado, como se observa en la Figura 61.



**Figura 61.** Campana elevada

Fuente: (Goberna, 1992)

$$L = 1.20 + (2 \times 0.4 \times H)$$

$$B = 0.6 + (2 \times 0.4 \times H)$$

Dónde:

- $H$  Altura entre la campana y el horno 0.70 [m]
- $L$  Largo de la campana [m]
- $B$  Ancho de la campana [m]

$$L = 1.80 [m]$$

$$B = 1.20 [m]$$

#### 4.5.2. Caudal de aire de captación

Para determinar el caudal necesario en campanas de techo con dos costados abiertos, se usará la siguiente ecuación:

$$Q = 3600(L + B).H.V_a$$

Dónde:

- $Q$  caudal de aire [ $m^3/h$ ]
- $L$  longitud de la campana [m]
- $H$  distancia entre la campana y el horno [m]
- $B$  ancho de la campana [m]
- $V_a$  velocidad de captación para gases o vapores 0.38 [m/s] (Goberna, 1992, pág. 47)

$$Q = 2872.8 [m^3/h]$$

$$Q = 1691 [CFM]$$

#### 4.5.3. Dimensiones del ducto

Para el dimensionamiento del ducto se considera una velocidad en el conducto recomendada para humos y gases de 10 m/s. (Goberna, 1992, pág. 59)

$$Q = 3600.V_c.A$$

$$A = \frac{Q}{3600.V_c}$$

$$A = \frac{Q}{3600.V_c}$$

Dónde:



- $Q$  caudal del aire [ $m^3/h$ ]
- $V_c$  velocidad del aire en el conducto 10 [m/s]
- $A$  superficie del conducto [ $m^2$ ]

$$A = 0.0798[m^2]$$

Con la superficie obtenida se determina que las dimensiones del ducto cuadrangular son de 30 cm de lado.

#### 4.5.4. Presión dinámica en el ducto

La presión dinámica (PD) se define como la presión requerida para acelerar el aire desde velocidad cero hasta una cierta velocidad ( $V_c$ ), y es proporcional a la energía cinética de la corriente de aire. (Goberna, 1992, pág. 17)

Si se supone que el aire se encuentra en condiciones estándar la presión dinámica se determina mediante la siguiente ecuación:

$$PD = \left( \frac{V_c}{4.043} \right)^2$$

Dónde:

- $PD$  presión dinámica [mm c.d.a]
- $V_d$  velocidad en el ducto 10[m/s]

$$PD = \left( \frac{10}{4.043} \right)^2$$

$$PD = 6.12 [mm \text{ c.d. a}]$$

#### 4.5.5. Pérdidas de carga

Para determinar la pérdida de carga debido a los componentes en un sistema de extracción localizada, se usará el método del coeficiente “n”, se basa en calcular la pérdida de carga de un elemento de la conducción en función de la presión dinámica  $P_d$  del aire que circula y de unos coeficientes “n” de proporcionalidad, determinados experimentalmente, para cada uno según su forma y dimensiones.

##### A. Pérdida de carga en los tramos rectos del ducto

El sistema de extracción constará de un tramo recto vertical de 0.20 [m] y un tramo horizontal de 3.40 [m]. Se recurre al nomograma de pérdidas en tramos rectos (ver Anexo *F*), diseñado para un coeficiente de fricción  $\lambda = 0.02$  (plancha de hierro galvanizada). Los datos necesarios son el caudal  $Q=2872.8$  [m<sup>3</sup>/h] y la velocidad en el ducto  $V_c= 12$  [m/s].

De esta manera usando el nomograma se determinó que el coeficiente de pérdida de carga es el siguiente:

$$n_1 = 0.5 \text{ [mm c.d.a/m]}$$

Para determinar la pérdida de carga en los tramos rectos se multiplica el coeficiente de pérdida por la longitud total de tramos rectos.

$$\Delta Pt_1 = L \cdot n_1$$

$$\Delta Pt_1 = (0.2 \text{ m} + 3.40 \text{ m})(0.5 \text{ mm c. d. a/m})$$

$$\Delta Pt_1 = 1.8 \text{ [mm c.d.a]}$$

##### B. Pérdida de carga en componentes y tramos no rectos

El sistema de extracción constará de una campana rectangular, un codo de 90° y un aumento de sección en la salida del ducto.

**a. Coeficiente de pérdida en la entrada a la campana**

*Para determinar el coeficiente de pérdida de carga en la campana se recurre al diagrama de pérdidas en el*

Anexo G, usando como datos el ángulo interno de la campana  $90^\circ$  y la sección cuadrangular de la campana. A continuación se presenta el coeficiente obtenido:

$$n_2=0.25$$

#### b. Coeficiente de pérdida en el codo

Para determinar el coeficiente de pérdida en el codo se recurre a la figura mostrada en el Anexo H, usando como datos la relación entre el radio del codo y el ancho del ducto R/D correspondiente a 1.42, y la relación entre las dimensiones del ducto W/D correspondiente a 1. A continuación se presenta el coeficiente obtenido:

$$n_3=0.21$$

Para determinar la pérdida de carga en la entrada a la campana y en el codo se multiplica la sumatoria de los coeficientes de pérdida por la presión dinámica.

$$\Delta Pt_2 = Pd. (n_2 + n_3)$$

$$\Delta Pt_2 = (6.12 \text{ mm c.d.a.})(0.25 + 0.21)$$

$$\Delta Pt_2 = 2.81 \text{ [mm c.d.a.]}$$

La pérdida de carga total es la sumatoria de las pérdidas en los tramos rectos, en la entrada a la campana y en el codo.

$$\Delta Pt = \Delta Pt_1 + \Delta Pt_2$$

$$\Delta Pt = 4.6 \text{ [mm c.d.a.]}$$

#### 4.5.6. Selección del extractor

*Para la selección del extractor los datos que se usarán son el caudal requerido de 2872.8 [m<sup>3</sup>/h] ó 1691 [CFM] y la pérdida de carga 4.6 [mm c.d.a.] y además debido a la disminución de la potencia por los componentes de extracción se selecciona un extractor modelo HXB-400/H con un caudal en descarga libre de 5450 [m<sup>3</sup>/h] y una presión estática de aproximadamente 30 [mm c.d.a.] estos datos se muestran en el*

Anexo J.

## **CAPÍTULO 5**

### **IMPLEMENTACIÓN, PRUEBAS Y COSTOS**

#### **5.1. Implementación del sistema integrado de fundición**

Se implementó el sistema de basculación automático (ver Figura 62) y sistema manual (ver Figura 63) al horno de crisol. Para su funcionamiento está acoplado el sistema automático, de esta

manera la basculación del horno se controlara mediante el sistema de control. En caso de algún daño en la caja de reductora se acoplara el sistema manual para el funcionamiento del horno.



**Figura 62.** Sistema de basculación automática



**Figura 63.** Sistema de basculación manual

Se realizó la instalación del sistema de extracción de gases con sus respectivos componentes, como son la campana, el ducto, un codo, el ventilador. Además se implementó un switch para el encendido y apagado del ventilador. El posicionamiento del sistema de extracción fue de acuerdo al espacio disponible en el laboratorio de Ciencia de Materiales permitiendo una óptima salida de gases generados por el horno de crisol. (Ver Figura 64)



**Figura 64.** Sistema de extracción de gases

Se realizó la implementación del molde metálico (ver Figura 65), el cual captará la fundición de aluminio generada en el horno de crisol para obtener las probetas correspondientes. El molde metálico está ubicado cerca al horno de crisol, de tal manera que el vertido del material fundido sea seguro e idóneo.



**Figura 65.** Molde metálico



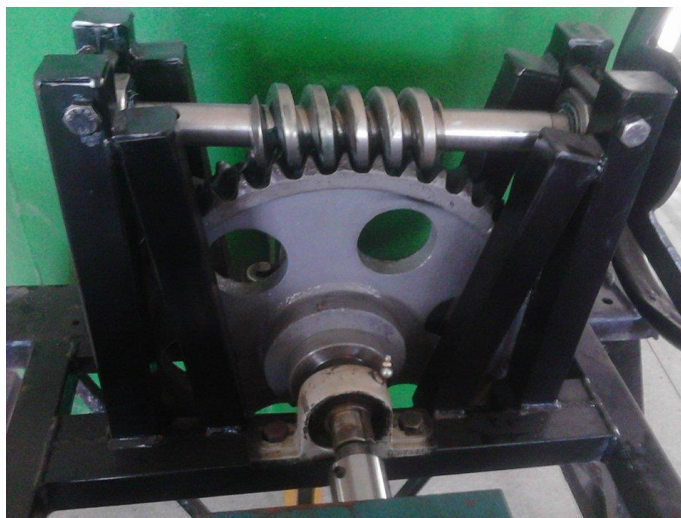
Se implementó una estructura metálica para el tanque de combustible, la cual permitirá abastecer al quemador de diésel. La estructura estará ubicada afuera del laboratorio de Ciencia de Materiales para prevenir riesgos o accidentes establecido por el Departamento de Seguridad Industrial y Salud Ocupacional de la Universidad de las Fuerzas Armadas “ESPE”.

## 5.2. Pruebas de funcionamiento

Para las pruebas de funcionamiento se realizó una verificación de las etapas del sistema integrado de fundición, a continuación se citan las siguientes:

- **Verificación de los sistemas de basculación**

Se acoplo el sistema de basculación manual al horno de crisol y se desacoplo el matrimonio del eje de la corona (ver Figura 66). Al realizar la prueba de funcionamiento, el sistema tornillo sin fin-corona controla la basculación del horno. El resultado es óptimo asegurando la basculación y autobloqueo del horno en cualquier posición.



**Figura 66.** Verificación del sistema manual

Al acoplar el sistema automático de basculación al horno de crisol, se acopla el matrimonio al eje de la corona y se desacopla el tornillo sin fin de la corona (ver Figura 62 y Figura 67). Mediante

el sistema de control se realizó la basculación del horno en cualquier posición, de esta manera se obtuvo un autobloqueo y basculación óptima.



*Figura 67.* Verificación del sistema automático

- **Verificación del encendido del horno de crisol**

Para el encendido del horno de crisol, previamente se realizó un mantenimiento preventivo del quemador, y posteriormente se acoplo al horno. Durante la prueba de funcionamiento del horno se generó un alto porcentaje de emisividad de gases de combustión y luego de un período aproximado de una hora la flama generada en la chimenea es alta, de tal forma que es inseguro e inadecuado para realizar una práctica de laboratorio.

Para un óptimo funcionamiento del horno, y corregir los problemas anteriormente citados, se procedió a verificar el estado y tipo de boquilla del quemador, se determinó que el filtro de la boquilla estaba desgastado y no permitía un óptimo funcionamiento, además las características de la boquilla no son indicadas para el horno de crisol del laboratorio de Ciencia de Materiales su consumo de diésel es de 3 [gal/h] y un ángulo de disparo de 60° aumentando la longitud de la flama. Se realizó un cambio de la boquilla del quemador con características de consumo de diésel de 2.5 [gal/h] y un ángulo de disparo de 80° reduciendo la longitud de la flama. Además para controlar la

flama se realizó el cierre de la chimenea del horno de crisol (ver Figura 68). En el Anexo L se indica el manual de usuario del quemador de diésel.

Al realizar estos cambios el funcionamiento del horno es óptimo y adecuado para un ambiente de trabajo seguro. (Ver Figura 69)



*Figura 68.* Chimenea del horno



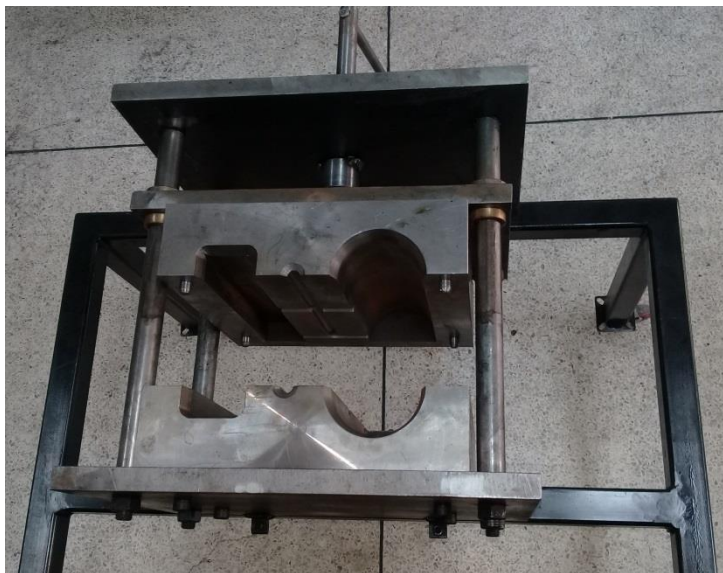
*Figura 69.* Encendido del horno

- **Verificación del sistema de extracción**

Para la prueba del funcionamiento del sistema de extracción de gases se la realizo con el encendido del horno de crisol. Al encender el ventilador, se verifico que no existen fugas de gases en el ducto y además los gases generados son extraídos y expulsados hacia el ambiente. De esta manera el sistema de extracción libera los gases generados por el horno, y permite un adecuado ambiente de trabajo en el laboratorio de Ciencia de Materiales.

- **Verificación del alineamiento del molde metálico**

La prueba del alineamiento de las partes del molde metálico fue óptima, las guías se alinean correctamente, de tal manera que la apertura y cierre del molde metálico es el adecuado para el proceso de colado de aluminio. (Ver Figura 70)



*Figura 70.* Alineamiento del molde metálico

- **Prueba del sistema integrado de fundición**

Una vez realizada la verificación de funcionamiento del sistema integrado y de sus elementos correspondientes, se procedió a realizar el proceso de fundición, el mismo que se detalla a continuación:

- a. Se procede a pesar 12 [kg] de aluminio reciclado (ver Figura 71), separando un 80% para llenar el horno, en ese instante se enciende el quemador y se arranca desde cero la fundición con el crisol cargado (ver Figura 72).



*Figura 71.* Medición del peso del aluminio



*Figura 72.* Llenado del crisol

- b.** Alrededor de una hora más tarde se funde el aluminio cargado obteniendo la colada, en esta primera instancia se coloca 0.5 % en peso del fundente (alufundex, ver Figura 73), y se revuele

la colada por de 10 minutos, de esta manera se reduce la oxidación y se minimiza la absorción de hidrógeno. (Gómez Chávez & Jami Sango, 2017)



*Figura 73.* Alufundex

- c. A continuación se coloca el 20% del aluminio restante, obteniendo la colada completa 20 minutos después (ver Figura 74).



**Figura 74.** Fundición completa del aluminio

- d. En esta etapa se coloca el desgasificante (apartagas, ver Figura 75) utilizando un 0.25 % en peso del material revolviéndolo por un lapso de 10 minutos, con el fin de eliminar las porosidades por medio de liberación de gases logrando a su vez refinar el tamaño de grano. (Gómez Chávez & Jami Sango, 2017)



**Figura 75.** Apartagas



- e. Una manera de alargar la vida útil del molde metálico evitando deformaciones debido al calentamiento en su superficie, es aplicando una película a base de grafito en polvo mezclado con diésel (ver Figura 76).



*Figura 76.* Aplicación de grafito en el molde metálico

- f. Antes de realizar el vaciado de la colada en el molde metálico, este debe ser calentado hasta alcanzar una temperatura de 200 °C para prevenir choques térmicos, cabe mencionar que para este calentamiento se utilizó la llama que genera la mezcla de oxígeno-acetileno por un tiempo de 15 minutos aproximadamente (ver Figura 77).



**Figura 77.** Calentamiento del molde metálico

- g.** Se efectúa un primer vaciado de la colada en un crisol previamente calentado debido a la posición en la que se encuentra el horno, el cual no permite vaciar directamente sobre el molde metálico debido a su diseño. Posteriormente se retira la escoria y se procede a verter (ver Figura 78).



**Figura 78.** Elementos para verter el material fundido

- h.** Se realiza el vaciado de la colada en el molde metálico cerrado completamente sus dos mitades (ver Figura 79), y se espera 5 minutos como máximo para proceder a liberar las piezas fundidas (ver Figura 80).



**Figura 79.** Vaciado del material fundido



**Figura 80.** Probetas de aluminio

Los defectos que se obtuvieron son rechufe en la parte superior del cilindro y del prisma, además un llenado incompleto en el prisma, este defecto se generó porque el crisol para verter el material no tiene la capacidad en volumen para llenar en un solo vertido la cavidad del cilindro y el prisma. Con los defectos mencionados los resultados eran esperados, y se concluye que las probetas obtenidas son óptimas para realizar un mecanizado. En el Anexo *M* se describe el manual de usuario

con los pasos y requerimientos para realizar la fundición de aluminio en el laboratorio de Ciencia de Materiales.

### 5.3. Costos

En esta sección se indicaran los costos del presente proyecto, a continuación se citan los sistemas en los cuales se realizó la evaluación de costos:

- a. Costos del sistema manual de basculación.
- b. Costos del sistema automático de basculación.
- c. Costos del sistema de extracción de gases.
- d. Costos del molde metálico y prensa manual.
- e. Costos de pruebas y otros.

#### a. Costos del sistema manual de basculación

En esta sección se detalla el costo de los componentes que fueron adquiridos para la fabricación del sistema de basculación manual, en base a precios existentes en el mercado local como se indica en la Tabla 28.

**Tabla 28.**

*Costos del sistema manual de basculación*

<b>Sistema Manual</b>			
<b>Ítem</b>	<b>Descripción</b>	<b>Costo Unitario</b>	<b>Costo total</b>
1	Corona	\$ 350,00	\$ 350,00
2	Tornillo sin fin	\$ 200,00	\$ 200,00
3	Eje AISI 1018 de 30 mm	\$ 70,00	\$ 70,00
4	Rodamientos NTN cónico de 25mm	\$ 26,50	\$ 53,00
5	Perfil cuadrado 40 x 40 mm	\$ 25,00	\$ 25,00
6	Garruchas de 4"	\$ 8,75	\$ 35,00
7	Pintura	\$ 6,50	\$ 6,50
8	Maquinado	\$ 250,00	\$ 250,00
		<b>Total</b>	<b>\$ 989,50</b>

### b. Costos del sistema automático de basculación

A continuación se detalla de manera general el precio total de los componentes que fueron comprados para la elaboración de la parte del sistema de control automático de la basculación del horno, como se muestra en la Tabla 29.

**Tabla 29.**

*Costos del sistema automático de basculación*

<b>Sistema automático</b>			
<b>Ítem</b>	<b>Descripción</b>	<b>Costo Unitario</b>	<b>Costo Total</b>
1	Componentes del sistema de control		\$ 185,94
2	Pintura Spray	\$ 2,00	\$ 4,00
4	Mano de obra	\$ 150,00	\$ 150,00
		<b>Total</b>	<b>\$ 339,94</b>

### c. Costos del sistema de extracción de gases

Como se indica en la Tabla 30, se encuentra detallado los materiales e insumos que fueron necesarios para la fabricación del sistema de extracción de gases donde se incluye los costos de transporte, mano de obra y montaje de toda la estructura.

**Tabla 30.**  
*Costos del sistema de extracción de gases*

<b>Sistema de extracción</b>			
<b>Ítem</b>	<b>Descripción</b>	<b>Costo Unitario</b>	<b>Costo total</b>
1	Plancha de tol galvanizado de 0,7 mm	\$ 15,44	\$ 92,64
2	Remaches 5/32 x 1/2"	\$ 0,05	\$ 4,50
3	Pernos 1/4 x 1/2 galvanizado	\$ 0,25	\$ 7,50
4	Silicón ABRO 1200	\$ 3,50	\$ 10,50
5	T rectangular 25x50x1,5 mm	\$ 10,17	\$ 20,34
6	T rectangular 20x40x1,5 mm	\$ 7,68	\$ 23,04
7	T rectangular 20x40x0,9 mm	\$ 5,75	\$ 17,25
8	T cuadrada 3/4x1,5 mm	\$ 5,45	\$ 27,25
9	Disco SIEA 7x1/16"	\$ 2,55	\$ 5,10
10	Platina de 25 x 3 mm	\$ 3,21	\$ 3,21
11	Ángulo de 1" x 1" x 1/8"	\$ 5,52	\$ 5,52
12	Broca HSS de 5/32"	\$ 1,50	\$ 3,00
13	Cadena galvanizada 3/16"	\$ 1,32	\$ 5,28
14	Grillete para cadena 1/4"	\$ 0,26	\$ 2,08
15	Pernos de expansión de 1/2 x 3 3/4	\$ 0,95	\$ 3,80
16	Broca de concreto de 1/2"	\$ 2,25	\$ 2,25
17	Caja plástica	\$ 2,59	\$ 2,59
18	Breaker	\$ 4,69	\$ 4,69
19	Manguera metálica de 1/2"	\$ 1,61	\$ 3,21
20	Conector metálico de 1/2"	\$ 0,54	\$ 0,54
21	Bornera	\$ 2,68	\$ 2,68
22	Cable sólido n°10	\$ 0,50	\$ 7,00
23	Ventilador	\$ 329,62	\$ 329,62
24	Mano de obra	\$ 200,00	\$ 200,00
25	Transporte	\$ 23,00	\$ 23,00
		<b>Total</b>	<b>\$ 806,59</b>

#### **d. Costos del molde metálico y prensa manual**

En esta sección se indica los costos de los elementos mecánicos empleados, los mismos que se encuentran en el mercado bajo normas técnicas y disponibilidad, como se indica en la Tabla 31.

**Tabla 31.***Costos del molde metálico y prensa manual*

<b>Molde metálico y Prensa manual</b>			
<b>Ítem</b>	<b>Descripción</b>	<b>Costo Unitario</b>	<b>Costo total</b>
1	Placas A36 de 500x400x 25 mm	\$ 125,00	\$ 375,00
2	Placas A36 de 300x250x100 mm	\$ 150,00	\$ 300,00
3	Ejes AISI 1018 de 1" x 80 "	\$ 55,00	\$ 55,00
4	Ejes AISI 1018 de 1 1/4" x 12"	\$ 43,00	\$ 43,00
5	Ejes AISI 1018 de 1/2" x 10 "	\$ 15,00	\$ 15,00
6	Eje AISI 4340 de 50x250 mm	\$ 30,00	\$ 30,00
7	Bujes de bronce SAE 40 de 40x200mm	\$ 60,00	\$ 240,00
8	Pernos M12 x 60	\$ 2,25	\$ 22,50
9	Pernos M10 x 25	\$ 1,75	\$ 21,00
10	Tuercas M16	\$ 0,85	\$ 6,80
11	Garruchas de 3"	\$ 3,00	\$ 12,00
12	Perfil cuadrado 40 x 40 mm	\$ 25,00	\$ 25,00
13	Pintura	\$ 6,50	\$ 6,50
14	Mecanizado	\$ 1.200,00	\$ 1.200,00
		<b>Total</b>	<b>\$ 2.351,80</b>

**e. Costos de pruebas y otros**

Para efectuar de las pruebas de funcionamiento se realizó la adquisición de los insumos se muestran en la Tabla 32, teniendo como inconveniente la compra del diésel porque no se lo expende libremente en la mayoría de gasolineras.

**Tabla 32.***Costos de pruebas y otros*

<b>Costos de pruebas y otros</b>			
<b>Ítem</b>	<b>Descripción</b>	<b>Costo Unitario</b>	<b>Costo total</b>
1	Canecas de diésel	\$ 6,00	\$ 36,00
2	Aluminio	\$ 1,50	\$ 22,50
3	Boquilla	\$ 11,20	\$ 11,20
4	Cemento refractario	\$ 25,00	\$ 25,00
5	Transporte del horno	\$ 265,00	\$ 265,00
6	Otros	\$ 440,00	\$ 440,00
		<b>Total</b>	<b>\$ 799,70</b>

Anteriormente se describieron los costos de los diferentes sistemas que conforman la “Instalación integrada para colada de semiproductos en molde metálicos, a partir de los equipos disponibles en el laboratorio de Ciencia de Materiales de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE”, y como resultado se obtuvo un costo del proyecto de aproximadamente \$5300 dólares (ver Tabla 33).

**Tabla 33.**  
*Costos generales*

<b>Costos Generales</b>		
<b>Ítem</b>	<b>Descripción</b>	<b>Costo Unitario</b>
1	Sistema Manual	\$ 989,50
2	Sistema Automático	\$ 339,94
3	Molde Metálico	\$ 2.351,80
4	Sistema de extracción de gases	\$ 806,59
5	Gastos de pruebas y otros	\$ 799,70
	<b>Total</b>	<b>\$ 5.287,53</b>



## CONCLUSIONES

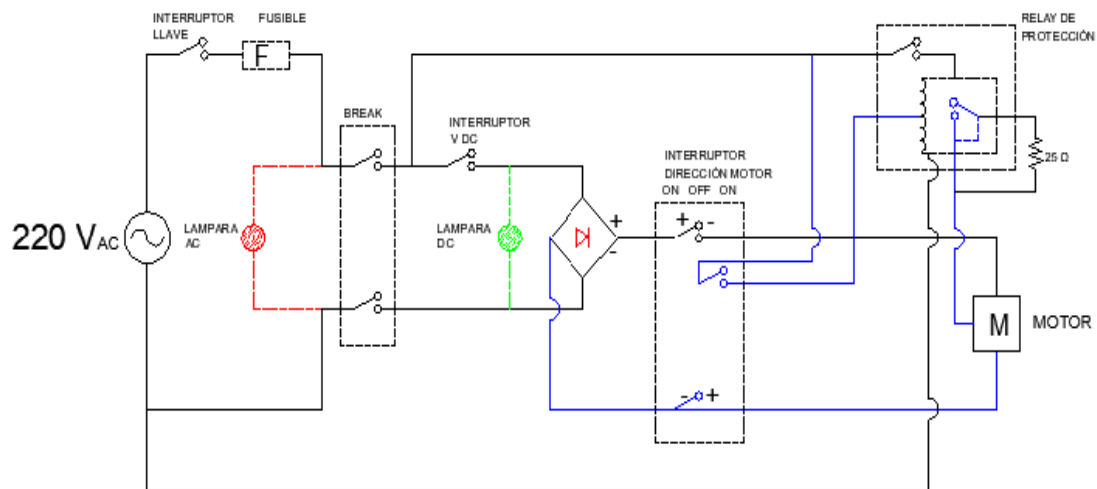
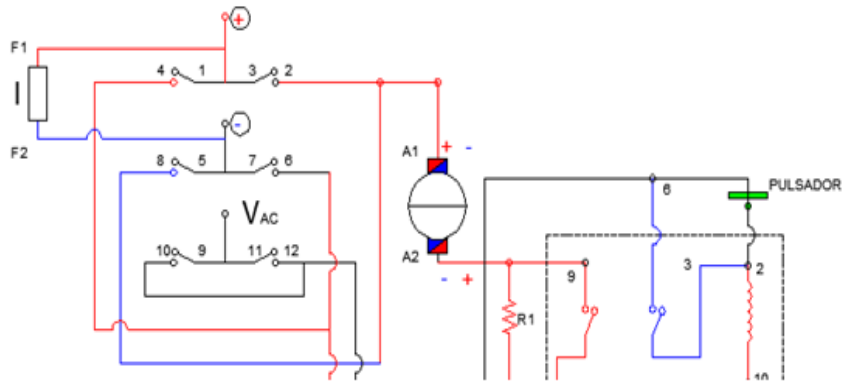
- Se logró cumplir con el objetivo general del presente proyecto, al poner en marcha el funcionamiento de la instalación integrada de fundición, la cual brindará ayuda académica a los estudiantes de la Carrera de Ingeniería Mecánica para las prácticas de Tecnología de Materiales de la Universidad de las Fuerzas Armadas “ESPE”.
- La basculación del horno obtenida como resultado de la implementación de los sistemas automático y manual, garantizan una fácil maniobrabilidad del horno manteniendo alta seguridad en cualquiera de sus dos condiciones de trabajo.
- La selección del acero ASTM A36 para la fabricación del molde metálico, es idónea debido a la frecuencia de uso en las prácticas del Laboratorio de Ciencia de Materiales, logrando obtener las probetas propuestas, que posteriormente serán usadas en el Laboratorio de Procesos de Manufactura I
- La construcción de la prensa manual presenta una fácil y versátil maniobrabilidad para cerrar y abrir las mitades del molde, efectuando un correcto alineamiento entre sus partes por medio de sus guías de acoplamiento.
- Al realizar la construcción e implementación del sistema de extracción de gases en el laboratorio de Ciencia de los Materiales, se cumple satisfactoriamente con su propósito, extrayendo los gases de combustión garantizando un adecuado ambiente de trabajo libre de gases.

## RECOMENDACIONES

- Para realizar la práctica de fundición, los alumnos deben emplear el uso de equipo de seguridad personal para prevenir quemaduras debido a las altas temperaturas a las que están expuestos durante todo el proceso, principalmente en el momento de realizar el colado del material.
- Realizar la adquisición de un filtro de combustible, debido a la alta impureza que posee el diésel, ya que causa una mayor generación de gases de combustión a través del funcionamiento del quemador.
- Efectuar un mantenimiento preventivo del quemador, realizando la limpieza de los electrodos de cobre, del filtro de combustible y de la boquilla de quemador, además purgar la bomba de combustible del quemador, para evitar la acumulación de aire en la misma y prevenir que se ahogue y no se encienda el quemador.
- Se recomienda la adquisición de un crisol de 8 [kg] de capacidad para que abastezca el material necesario para lograr que en un solo vaciado se llene las dos cavidades del molde metálico que es cerca de los 5 [kg].
- Para mejorar la calidad de fundición obtenida se recomienda el empleo de perfiles de aluminio principalmente por los aleantes con los que están formados ayudando de esta manera a que la fundición presente una mejor calidad.
- Para el mejoramiento de la fluidez de la colada de aluminio se recomienda usar fundente de aluminio, y para la eliminar la presencia de gases se recomienda usar apartagas.

## ANEXOS

## Anexo A. Circuito del sistema de control



## Anexo B. Descripción del control eléctrico del motor dc

### FUNCIONAMIENTO

- Conectamos el cable de poder a los 220 V AC. de la red eléctrica, cable que ingresa al módulo-tablero de control.
- Conectamos el cable de poder que sale del módulo-tablero con la energía eléctrica de 220 VDC. al motor DC.
- Procedemos a encender el interruptor de llave, se encenderá la lámpara de color rojo, indicativo que tenemos la energía eléctrica 220 VAC de la red eléctrica.
- Presionamos el contactó rojo, inmediatamente se encenderá la lámpara de color verde, indicativo que se activó la energía eléctrica de voltaje directo VDC.
- Mediante el interruptor selector indicador (1 - 0 - 2) giramos a la posición “1” el motor se encenderá girando a la derecha.
- Inmediatamente pulsamos el pulsador verde, se encenderá la lámpara amarilla, indicando que el motor recibe la tensión adecuada de operación.
- Para cambiar la dirección del motor hacia la izquierda, usamos el mismo interruptor selector indicador (1 - 0 - 2), hacia la posición de “0”, el motor se apagará.

### ADVERTENCIA TÉCNICA:

- Al cortar la energía 220vdc al motor, eliminamos la energía eléctrica que recibe, pero debemos esperar que el motor se detenga con la carga mecánica, ya que por su inercia mecánicamente el motor está girando en esa dirección.
- Luego del tiempo necesario, para que se detenga la carga mecánica, giramos el interruptor (1 - 0 - 2) a la posición “2”, el motor se encenderá nuevamente, girando la carga mecánica también en el sentido izquierdo.
- Inmediatamente pulsamos el pulsador verde, se encenderá la lámpara amarilla, indicando que el motor recibe la tensión adecuada de operación.
- Finalmente para apagar el modulo-tablero eléctrico de control, procedemos desconectado los interruptores inversamente al del encendido.

- Al no utilizar el sistema eléctrico este deberá apagarse totalmente todas las funciones del módulo y de la red eléctrica.

#### **COMPONENTES:**

- Break-interruptor de 32 Amp. VAC.
- Break-interruptor selector tres posiciones (1-0-2) de 16 Amp. VDC.
- Relay o relé de 220 VAC. 16 Amp.
- Lámparas indicadoras de energía de 220 VAC, color rojo, verde y amarilla.
- Interruptor o switch de llave, para conectar el voltaje de 220 VAC al tablero o módulo.
- Interruptor fijador, color Rojo, para conectar la tensión 220 VDC.
- Pulsador color Verde, activa la lámpara Amarilla, indicando la presencia del voltaje adecuado para el motor DC.
- Rectificador Puente de Diodos de 30 Amperios.
- Resistencia de potencia de 25 ohmios, para sangría del voltaje del motor, al cambiar la dirección del motor.
- Cables N°12 para las conexiones internas.
- Conectores externos e internos del módulo

## Anexo C. Propiedades del acero AISI 4340

**DIPAC**  
PRODUCTOS DE ACERO

## EJES Acero 705




### Especificaciones Generales

**Calidad:** AISI 4340 (705)

**Descripción:** Es un acero bonificado al cromo, níquel, molibdeno, altamente resistente a la tracción, torsión y a cambios de flexión. Insensible al sobrecalentamiento en el forjado y libre de propensión a la fragilidad del revenido.

**Aplicaciones:** Partes de maquinarias sometidas a altos esfuerzos, brazo de dirección, cigueñales, árboles de levas, barras de torsión, embragues, piñones, barras de cardán, ejes de bombas, ejes para aviones, muñones, pernos de alto grado de tensión, rodillos de transportadora, etc...

**Longitud:** 6 m

### Composición Química

%C	%Si	%Mn	%P	%S
0,34	0,1 - 0,35	0,60 - 0,80	0,04 - 0,30	0,002 - 0,03

### Propiedades Mecánicas

Diámetro (mm)	Resistencia Mecánica (N/mm <sup>2</sup> )	Punto de Fluencia (N/mm <sup>2</sup> )	Elongación % Min.	Dureza ROCKWELL B
16 o menos	1200 - 1400	1000	9	240 - 360
16 - 40	1100 - 1300	900	10	240 - 360
41 - 100	1000 - 1200	800	11	240 - 360

### Dimensiones

Diámetro
25 mm
32 mm
38 mm
45 mm
50 mm
60 mm
70 mm
90 mm

**EJES**

## Anexo D. Catálogo de rodamientos NTN

d 15 ~ 30mm

d	Dimensiones principales						Capacidad básica de carga				Velocidades límites		Números de rodamientos
	D	T	B	C	$r_{s\ min}^{1)}$	$r_{r\ min}^{1)}$	dinámica kN	estática	dinámica kgf	estática	grasa	aceite	
15	42	14.25	13	11	1	1	23.2	20.8	2 370	2 120	9 900	13 000	4T-30302
	40	13.25	12	11	1	1	20.5	20.3	2 090	2 070	9 900	13 000	4T-30203
17	40	17.25	16	14	1	1	27.3	28.3	2 790	2 880	9 900	13 000	4T-32203
	40	17.25	16	14	1	1	26.2	28.2	2 670	2 870	9 900	13 000	4T-32203R <sup>2)</sup>
	47	15.25	14	12	1	1	28.9	26.3	2 940	2 680	9 000	12 000	4T-30303
20	42	15	15	12	0.6	0.6	24.9	27.9	2 540	2 840	9 500	13 000	4T-32004X
	47	15.25	14	12	1	1	28.2	28.7	2 870	2 930	8 800	12 000	4T-30204
	47	19.25	18	15	1	1	36.5	39.5	3 700	4 000	8 800	12 000	4T-32204
	52	16.25	16	13	1.5	1.5	35.5	34.0	3 600	3 450	8 000	11 000	4T-30304A
	52	16.25	16	12	1.5	1.5	31.0	31.0	3 150	3 150	7 600	10 000	4T-30304CA
22	44	15	15	11.5	0.6	0.6	27.0	31.5	2 760	3 250	8 900	12 000	4T-320/22X
	47	15	15	11.5	0.6	0.6	27.8	33.5	2 830	3 450	7 900	11 000	4T-32005X
25	47	17	17	14	0.6	0.6	32.5	40.5	3 300	4 150	8 000	11 000	4T-33005
	52	16.25	15	13	1	1	31.5	34.0	3 200	3 450	7 300	9 800	4T-30205
	52	19.25	18	16	1	1	42.0	47.0	4 300	4 800	7 300	9 800	4T-32205
	52	19.25	18	15	1	1	38.0	43.0	3 850	4 400	7 300	9 800	4T-32205R <sup>2)</sup>
	52	19.25	18	15	1	1	38.0	46.5	3 900	4 750	7 100	9 400	4T-32205C
	52	19.25	18	15	1	1	34.5	42.0	3 500	4 250	7 100	9 400	4T-32205CR <sup>2)</sup>
	52	22	22	18	1	1	47.5	57.5	4 850	5 850	7 300	9 800	4T-33205
	62	18.25	17	15	1.5	1.5	48.5	47.5	4 950	4 850	6 700	8 900	4T-30305
	62	18.25	17	14	1.5	1.5	41.5	41.5	4 250	4 250	6 400	8 500	4T-30305C
	62	18.25	17	13	1.5	1.5	40.5	43.5	4 150	4 450	5 900	7 800	4T-30305D
28	52	16	16	12	1	1	33.0	40.5	3 400	4 150	7 300	9 700	4T-320/28X
	58	24	24	19	1	1	58.0	69.5	5 950	7 100	6 700	8 900	4T-332/28
30	55	17	17	13	1	1	37.5	46.0	3 800	4 700	6 900	9 200	4T-32006X
	55	20	20	16	1	1	42.5	54.0	4 300	5 500	6 900	9 200	4T-33006
	62	17.25	16	14	1	1	43.5	48.0	4 450	4 900	6 300	8 400	4T-30206
	62	21.25	20	17	1	1	54.5	64.0	5 600	6 550	6 300	8 400	4T-32206
	62	21.25	20	17	1	1	50.0	60.0	5 100	6 100	6 100	8 100	4T-32206C
	62	25	25	19.5	1	1	65.0	77.0	6 600	7 850	6 300	8 400	4T-33206
72	20.75	19	16	1.5	1.5	60.0	61.0	6 100	6 200	5 700	7 600	4T-30306	

1) Dimensión mínima permitida para el chaflán r o r<sub>1</sub>.

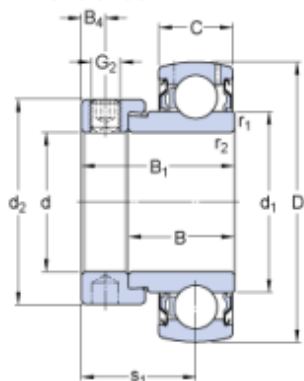
2) Estos rodamientos no tienen incorporadas las dimensiones de las sub-unidades.

## Anexo E. Catálogo de rodamiento SKF YET206



## YET 206

## Dimensiones



d	30	mm
D	62	mm
B	23.8	mm
C	18	mm
d <sub>1</sub>	≈ 39.7	mm
r <sub>1,2</sub>	min. 0.6	mm
s <sub>1</sub>	26.7	mm

## Dimensions

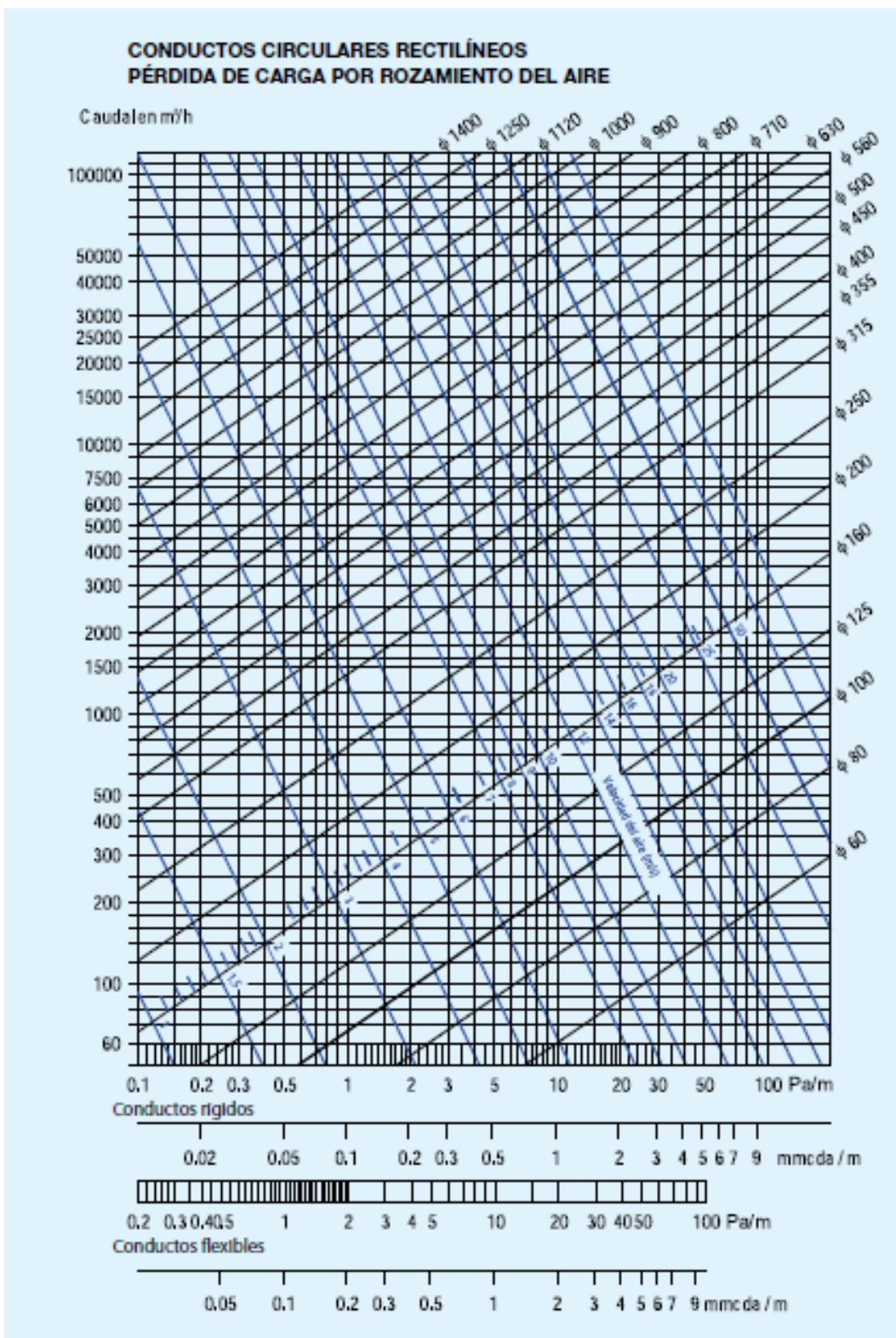
B <sub>1</sub>	35.7	mm
d <sub>2</sub>	44.1	mm
B <sub>4</sub>	5.95	mm

## Datos del cálculo

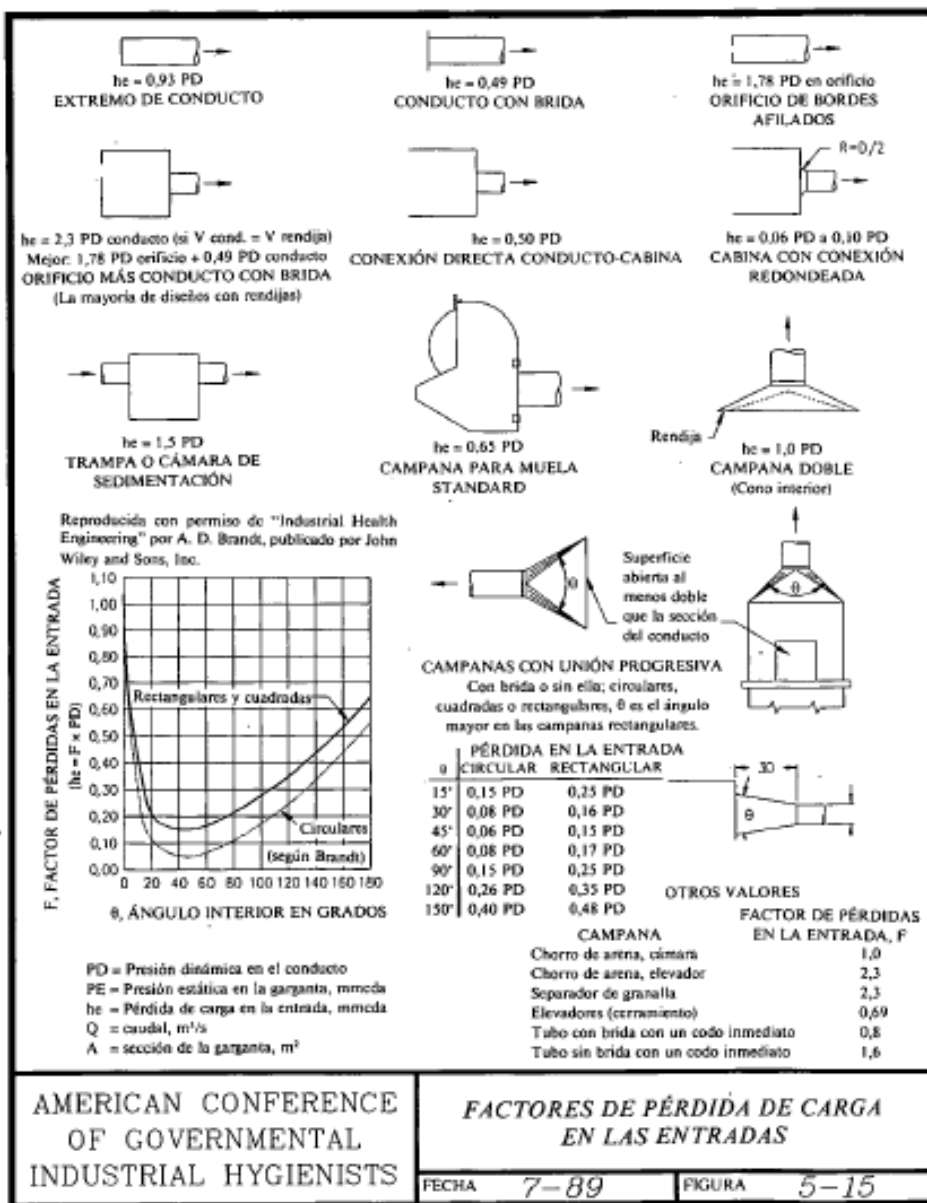
Capacidad de carga dinámica básica	C	19.5	kN
Capacidad de carga estática básica	C <sub>0</sub>	11.2	kN
Carga límite de fatiga	P <sub>u</sub>	0.475	kN



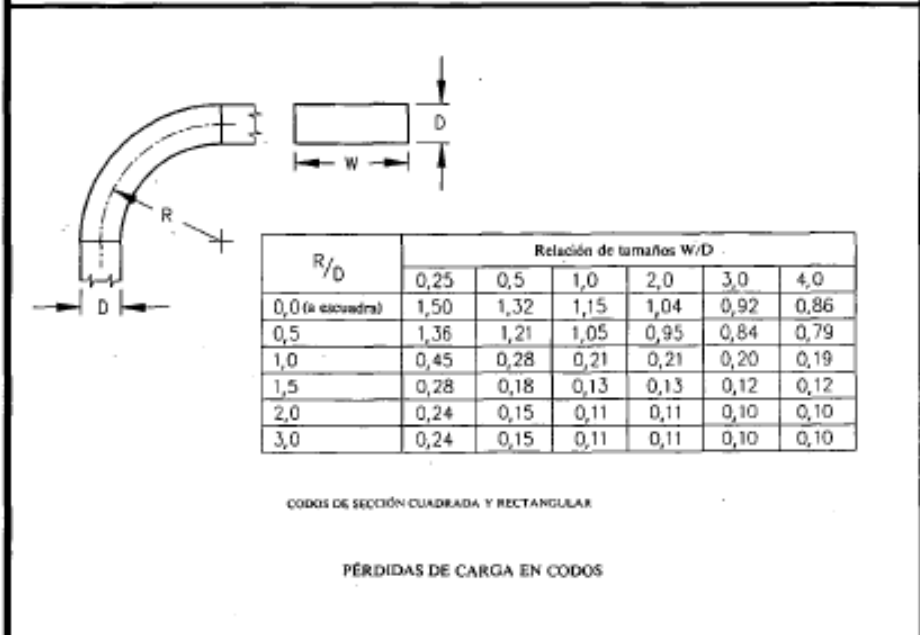
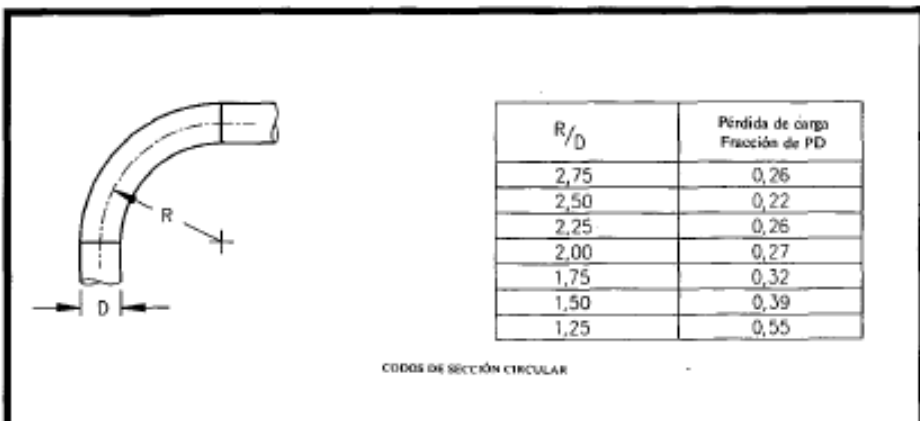
Anexo F. Coeficiente de pérdida en tramos rectos



Anexo G. Coeficiente de pérdida a la entrada de la campana



Anexo H. Coeficiente de pérdida en codos



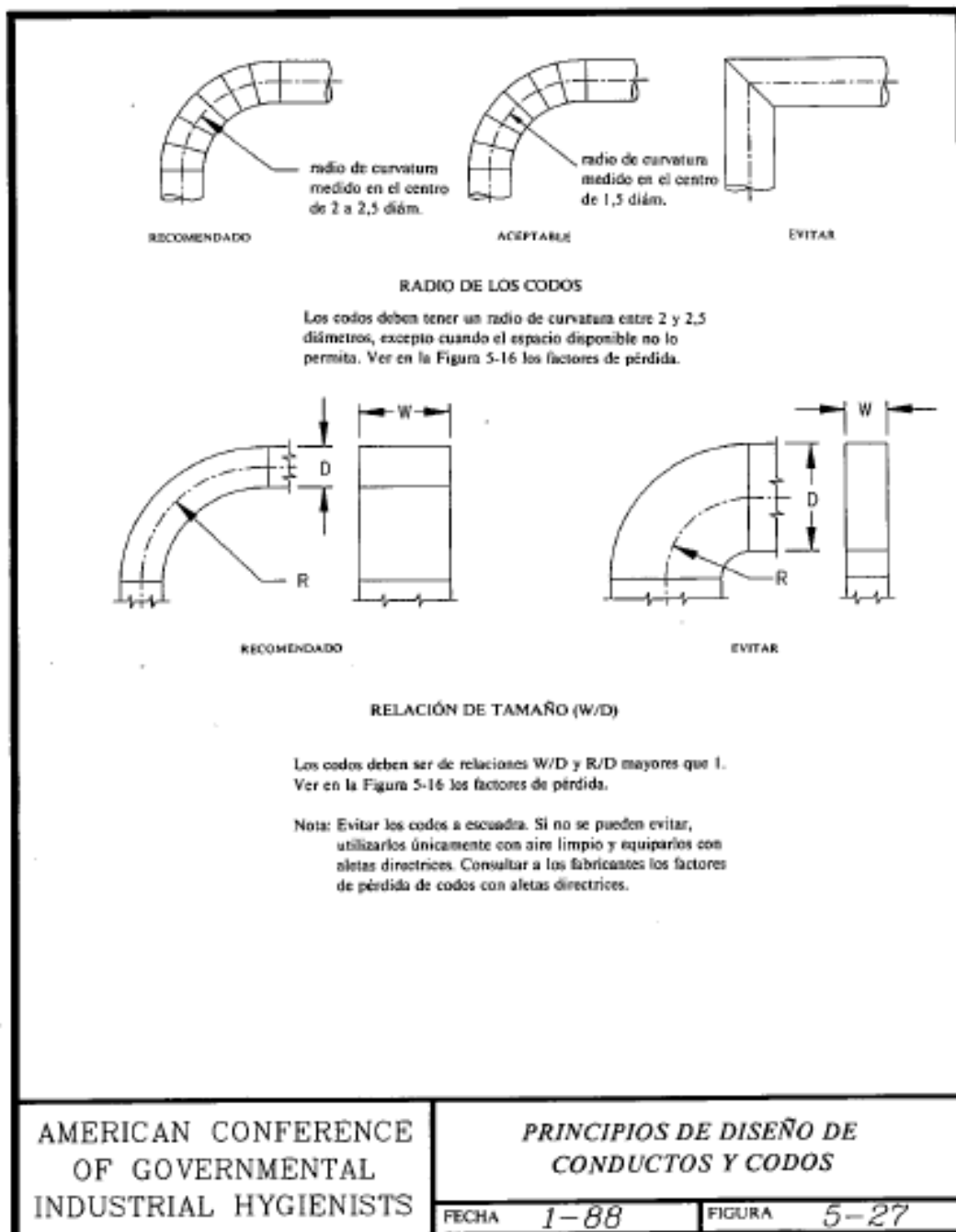
AMERICAN CONFERENCE  
OF GOVERNMENTAL  
INDUSTRIAL HYGIENISTS

DATOS PARA DISEÑO  
DE CONDUCTOS

FECHA 1-88

FIGURA 5-16

### Anexo I. Consideraciones de diseño en codos



## Anexo J. Características técnicas del extractor HXB 400/H

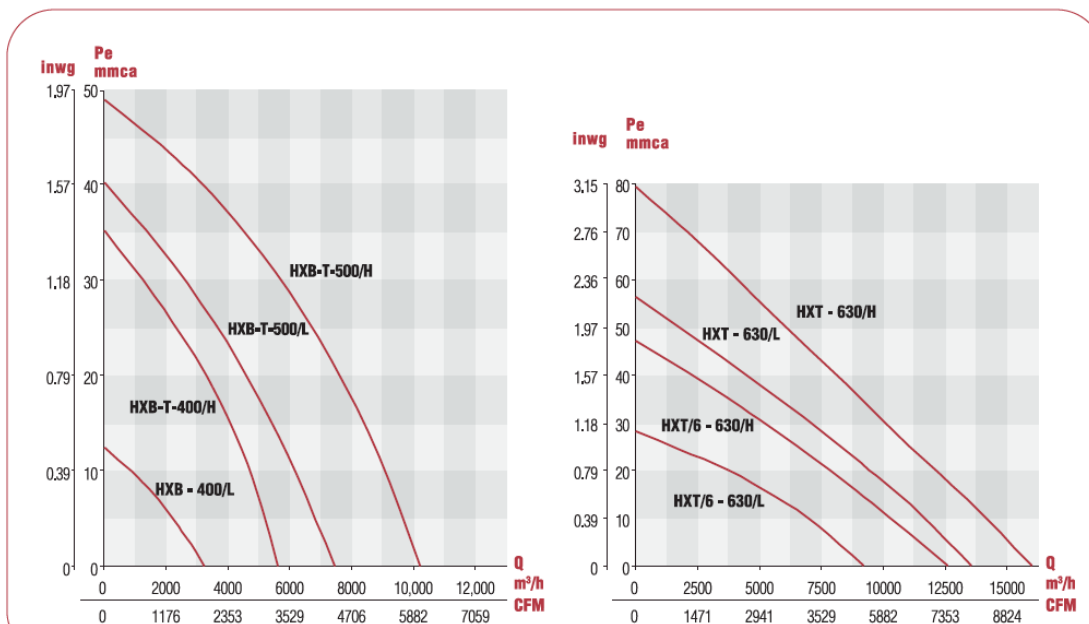
### CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

Modelo	Velocidad RPM	Potencia HP	Tensión Volts	Intensidad A	Caudal a descarga libre m <sup>3</sup> /hr / CFM	Presión sonora dB(A)*	Peso aprox. Kg
HXB - 400 / L	1625	1/8	127	1.6	3,190 / 1,876	60	14
HXB - 400 / H	1625	1/4	127	2,6	5,450 / 3,206	64	15
HXB - 500 / L	1625	1/2	127	4,4	7,630 / 4,488	68	19
HXB - 500 / H	1625	1/2	127	4,4	10,180 / 5,988	71	18
HXT - 400 / H	1725	1/4	220	2,0	5,450 / 3,206	64	15
HXT - 500 / L	1650	1/2	220 / 440	2,0 / 1,0	7,630 / 4,488	68	19
HXT - 500 / H	1650	1/2	220 / 440	2,0 / 1,0	10,180 / 5,988	71	18
HXT - 630 / L	1765	1	208-230 / 460	3,0 / 1,5	13,500 / 7,941	77	29
HXT - 630 / H	1760	1 1/2	208-230 / 460	4,2 / 2,1	15,930 / 9,371	78	29
HXT/6 - 630 / L	1150	1/2	230 / 460	2,4 / 1,2	9,180 / 5,400	70	30
HXT/6 - 630 / H	1130	3/4	208-230 / 460	3,2 / 1,6	12,590 / 7,406	73	35

\*Nivel sonoro medido de acuerdo a las normas AMCA 300/05 y 301/05

\* L: Hélices con ángulo de menor ataque.  
\* H: Hélices con ángulo de mayor ataque.

### CURVAS CARACTERÍSTICAS



### **Anexo K. Manual de usuario de la caja de control automático**

1. Verificar el correcto acoplamiento (matrimonio) entre el eje de salida de la caja reductora y el eje de la corona.
2. Realizar la conexión a 220 V para alimentar el sistema de control.
3. Activar el sistema de control por medio del selector de dos posiciones con llave, la luz verde indicará su activación.
4. Accionar el pulsador tipo hongo de color rojo, el mismo que permite alimentar eléctricamente al motor, su luz amarilla muestra su energización.
5. Gire a la posición “1” el selector de tres posiciones para efectuar la basculación en sentido de avance del horno.
6. Posicione en “0” para efectuar el paro del horno en la posición de avance que se requiera.
7. Para regresar el horno en sentido de retroceso active la opción “2” del selector, de esta manera el horno regresará a la posición de regreso que desee.
8. Para apagar el sistema de control automático, el selector de tres posiciones debe estar en “0”, a continuación se desactiva el pulsador tipo hongo de color rojo, la luz amarilla se apagará e indicará que el motor se encuentra apagado.
9. Se desactiva el selector de dos posiciones con llave, apangándose la luz verde indicativa.

Nota:

Se debe tener mucha precaución al momento de efectuar el giro de avance y retroceso, no se debe saltar la posición de “0” de forma seguida dejando pasar unos 2 a 3 segundos hasta que el motor se detenga completamente, de esta manera se precautela la integridad del motor y del sistema de control automático.

### **Anexo L. Manual de usuario del quemador de diésel**

1. Verificar que la conexión entre la manguera del tanque de combustible y el quemador se encuentre correctamente acoplada.
2. Energizar el quemador.
3. El quemador posee un autoencendido, si no se enciende automáticamente se debe pulsar el botón de encendido hasta que la luz verde se encienda.
4. Regular la toma de aire para reducir la emisión de gases y acortar la longitud de llama que genera el quemador.
5. Para apagar el quemador se debe pulsar los botones que se encuentran bajo el botón de encendido del quemador.

#### Nota:

Si el quemador no enciende, se debe purgar la bomba de combustible conectado al suministro de diésel y encendido, se debe aflojar el grasero que se encuentra en la parte baja de la bomba de esta manera saldrá diésel y aire, de esta forma la bomba tendrá nuevamente el suficiente diésel para encender.

### **Anexo M. Manual de usuario para fundición de aluminio**

#### 1. Encendido y calibración del quemador

- Revisar que se encuentre cerrada la válvula del tanque de combustible.
- Revisar que se encuentre cerrado el ventilador del quemador
- Revisar que el tornillo para la admisión de combustible del quemador se encuentre en un punto intermedio, en caso de encontrarse en sus extremos se apagará el quemador
- Ubicar el quemador en la cámara de combustión del horno
- Abrir la válvula del tanque de combustible
- Activar la electro válvula del quemador
- Abrir levemente el ventilador del quemador hasta alcanzar la máxima potencia.

#### 2. Preparación del aluminio, fundición y vaciado

- Pesar cerca de 12 kg de perfiles de aluminio, los mismos que serán fundidos
- Colocar la carga de aluminio aproximadamente el 80% a medida que este se vaya fundiendo.
- Esperar a que el horno llegue cerca de los 900°C y que el aluminio muestre característica de colada.
- Preparar el fundente (alufundex) con un relación de 0.5% en peso de la cantidad de aluminio, para este caso se empleará 60 gr de fundente.
- Por un tiempo de 10 min colocar el fundente mediante el empleo de la campana y mezclar la colada.
- Colocar el sobrante de la carga del aluminio, es decir el 20% restante
- Mezclar nuevamente unos 10 min
- En esta etapa se emplea el desgasificante (apartagas) el mismo que es sumergido en la colada y se lo mezcla con la campana por un lapso de 10 min.
- Una vez obtenida la colada se la verifica con la ayuda de una varilla de acero, introduciendo en el interior del crisol, donde la colada no debería pegarse a la superficie de la varilla es decir debe chorrear, esta características nos indicará que la colada es óptima para ser vertida en el molde



- Para realizar el vaciado de la colada se empleará otro crisol A20, el mismo que debe ser precalentado cerca de 40 min para evitar un choque térmico con la colada de aluminio.
- Se debe vaciar el contenido del segundo crisol estimando una altura de aproximadamente 50 cm, con el fin de lograr un chorro fino y además la altura ayudará a disipar el calor en la colada.

### 3. Preparación del molde metálico

- Se debe tener una área idónea de trabajo para transportar la colada de aluminio que garantice seguridad y fácil movimiento
- Se procede a preparar una película de protección a base de una mezcla de grafito y diésel, con el fin de ayudar a prolongar la vida útil del molde metálico.
- Se debe calentar el molde metálico aproximadamente unos 40 min antes de ser vertida la colada en su interior.
- Una vez colado el aluminio fundido se debe esperar cerca de unos 30 minutos para abrir las cavidades del molde, debido principalmente a la cantidad de masa que se está moldeando.
- Una vez extraída la pieza fundida se repite el proceso de colado del aluminio.
- Durante el primer vaciado del aluminio, el horno no debe ser apagado sino que se debe mantener una temperatura mínima la cual garantice que la colada se mantenga líquida.
- Debido a las propiedades físicas del aluminio que presenta en el momento de enfriarse, es recomendable vaciar en su totalidad los residuos de colada que quedan dentro del crisol, ya que aumenta el volumen del aluminio lo que produciría que el crisol se cuarteo y se parta, se puede vaciar en otro recipiente o coquilla pero siempre deben mantenerse calientes.

## Bibliografía

- Askeland, D. R. (2004). *Ciencia e Ingeniería de Materiales* (Cuarta ed.). Mexico: International Thomson Editores S.A.
- Bartsch, W. (2003). *Alrededor del torno*. España: Reverté S.A.
- Bone, J., & Crespo, D. (2015). *Diseño y construcción de un horno basculante manual para la fundición de materiales no ferrosos de capacidad de hasta 150 kg para el Laboratorio de Ciencia de Materiales de la Escuela Politécnica del Ejército*. Sangolqui, Ecuador: Universidad de las Fuerzas Armadas "ESPE".
- Cengel, Y. A. (2009). *Termodinámica* (Sexta ed.). México D.F: McGraw-Hill.
- Coste, H. (1962). *Curso Elemental de Fundición* (Primera ed.). Barcelona-España: Bruguera S.A.
- Dietsche, K. H. (2005). *Manual de la técnica del automóvil* (Cuarta ed.). España: Reverte.
- Dobrovoski. (1976). *Elementos de Máquinas* (Primera ed.). Moscú: Mir.
- Ergonautas.upv.* (s.f.). Recuperado el 10 de Septiembre de 2017, de <https://www.ergonautas.upv.es/metodos/biomecanica/biomecanica-ayuda.php>
- Gerling, H. (2006). *Alrededor de Maquinas y Herramientas* (Tercera ed.). España: Reverté S.A.
- Goberna, R. (1992). *Ventilación Industrial* (Primera ed.). España: Artes Gráficas Soler.
- Gómez Chávez, M. D., & Jami Sango, H. E. (2017). *Estudio paramétrico del proceso de colado centrífugo horizontal para la obtención de tubos de aluminio sin costura*. Quito, Ecuador: Universidad Politécnica Nacional.
- Goyos, L. (1992). *Tecnología de la Fundición* .
- Goyos, L. (1992). *Tecnología de la fundición II* (Primera ed.). La Habana: ISPJAE.
- Groover, M. P. (2007). *Fundamentos de Manufactura Moderna* (Tercera ed.). México: McGraw-Hill.
- Kalpakjian, S. (2008). *Manufactura, Ingeniería y Tecnología* (Quinta ed.). México: Pearson Educación.

- Kurt, G. (1993). *Manual de Fórmulas Técnicas* (Décimo Novena ed.). México D.F: Alfaomega S.A.
- Larburu, N. (2001). *MÁQUINAS* (Décimo Tercera ed.). España: Paraninfo S.A.
- MakeItFrom.com*. (s.f.). Recuperado el 14 de 06 de 2017, de <http://www.makeitfrom.com/material-properties/ASTM-Grade-30-ISO-Grade-200-EN-JL-1030-Grey-Cast-Iron>
- Mateos Palacio, B., & Moro Piñeiro, M. (s.f.). *Tecnología Mecánica y Metrotecnica*.
- Montes, J. R. (2006). *Procesos Industriales Para Materiales Metálicos* (Segunda ed.). Madrid: Vision Net.
- Morti, C. (1969). *Engranajes*. Barcelona: Ariel S.A.
- Mott, R. L. (2006). *Mecánica de Fluidos* (Sexta ed.). México: Pearson.
- Norton, R. (2011). *Diseño de Máquinas* (Cuarta ed.). México D.F: Pearson.
- pfernandezdiez.es*. (s.f.). Recuperado el 14 de 06 de 2017, de <http://files.pfernandezdiez.es/IngenieriaTermica/Tablas/PDFs/Tablas.pdf>
- Radzevich, S. P. (2012). *Handbook of Practical Gear Design and Manufacture* (Segunda ed.). Broken Sound Parkway NW: Taylor & Francis Group.
- Sánchez, F. (2007). *Mantenimiento Mecánico de Maquinas* (Segunda ed.). España: Universitat Jaume.
- Schey, J. A. (2002). *Procesos de Manufactura* (Tercera ed.). México: McGraw-Hill.
- Serway, R. A. (2008). *Física para ciencias e ingeniería* (Séptima ed.). México D.F: Editec S.A.
- Shigley, J. E. (2008). *Diseño de Ingeniería Mecánica de Shigley* (Octava ed.). México D.F: McGraw-Hill.
- Smith, W. F. (2006). *Fundamentos de la Ciencia e Ingeniería de los Materiales* (Cuarta ed.). México: McGraw-Hill.
- Stefanescu, D. M. (1988). *ASM Handbook Casting*. Estados Unidos.

Titov, N., & Stepanov, Y. A. (1981). *Tecnología del proceso de fundición* (Primera ed.). URSS: Mir Moscú.