

**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE QUITO**

**CARRERA:
INGENIERÍA MECÁNICA**

**Trabajo de titulación previo a la obtención del título de:
INGENIERO MECÁNICO**

**TEMA:

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA COQUILLA DE 250MM X 250MM,
PARA FUNDIR ALUMINIO EN EL LABORATORIO DE FUNDICIÓN DE LA
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA, UNIVERSIDAD POLITÉCNICA
SALESIANA, CAMPUS SUR SEDE QUITO.**

**AUTORES:
JACHO LOACHAMIN JUAN CARLOS
PADILLA SAEZ LUIS PATRICIO**

**DOCENTE TUTOR:
JAMI LEMA MILTON SALOMÓN**

Quito, Septiembre 2018

Cesión de derechos autor

Nosotros, Juan Carlos Jacho Loachamín con documento de identificación N° 1716981319 y Luis Patricio Padilla Saez con documento de identificación N° 1716875701, manifestamos nuestra voluntad y cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del trabajo de titulación intitulado: "DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA COQUILLA DE 250MM X 250MM, PARA FUNDIR ALUMINIO EN EL LABORATORIO DE FUNDICIÓN DE LA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA, UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA, CAMPUS SUR SEDE QUITO, mismo que ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero Mecánico, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En aplicación a lo determinado en la ley de propiedad intelectual, en nuestra condición de autores nos reservamos los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia suscribimos este documento en el momento que hacemos la entrega del trabajo final en formato impreso y digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.



Juan Carlos Jacho Loachamín

Cédula: 1716981319



Luis Patricio Padilla Saez

Cedula: 1716875701

Fecha: Quito, Septiembre del 2018

Declaratoria de coautoría del docente tutor

Yo, declaro que bajo mi dirección y asesoría fue desarrollado el trabajo de titulación: DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA COQUILLA DE 250MM X 250MM, PARA FUNDIR ALUMINIO EN EL LABORATORIO DE FUNDICIÓN DE LA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA, UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA, CAMPUS SUR SEDE QUITO, realizado por Juan Carlos Jacho Loachamín y Luis Patricio Padilla Saez, obteniendo un producto que cumple con todos los requisitos estipulados por la Universidad Politécnica Salesiana para ser considerados como trabajo final de titulación.

Quito, Septiembre del 2018

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Milton Salomón Jami Lema', is written over a horizontal dashed line.

Ing. Milton Salomón Jami Lema

Dedicatoria

Dedicado a mi madre Esther (+), quien falleció mientras culminaba el presente proyecto, el recuerdo indeleble de su sonrisa y serenidad perdurará en mi corazón, quien conjuntamente con mi padre supieron guiarme para culminar con éxito este objetivo, gracias por la paciencia, comprensión y los valores inculcados en casa, que harán de mi un mejor hombre. Agradezco a mi hermano Cristian y novia Lorena por el apoyo y tolerancia incondicional a lo largo de esta etapa.

Luis Patricio Padilla Saez

Dedicado a mi familia, fuente de alegría e inspiración, Maribel compañera incondicional, mis hijos Dayanna y Juan Francisco por quienes ha valido la pena cada esfuerzo en la consecución de esta meta.

A mis padres, por ese inmenso amor que ha sabido guiar y formar dejando de lado sueños propios para ayudar a construir los de sus hijos.

Juan Carlos Jacho Loachamin

Resumen

El proyecto tiene como objetivo el diseño y la construcción de un molde permanente de acero, también conocido con el nombre de coquilla, el mismo contará con los respectivos mecanismos de montaje, apertura y cierre necesarios para su normal funcionamiento durante la fundición por gravedad de piezas de aluminio, cabe acotar que este proyecto tendrá su aplicación en el desarrollo de las prácticas realizadas por estudiantes en el laboratorio de fundición de la Carrera de Ingeniería Mecánica de la Universidad Politécnica Salesiana (UPS).

Se realizó la compilación de la información y sustento teórico inherente a los procesos de fundición contemplando las generalidades que conlleva la ejecución del mismo, considerando que el producto a obtener en la coquilla es una pieza de aluminio en forma de cenicero con un peso aproximado de 0,83 kg.

Luego de compilado el marco teórico, se realizó la selección de las alternativas en cuanto a mecanismos y materiales de los distintos elementos que forman parte del proyecto, para este fin se considera la facilidad de adquisición y disponibilidad en el mercado nacional de los materiales a utilizar en la construcción de las partes, sin dejar de lado la maquinabilidad y sus costos. Por otra parte, al analizar los elementos mecánicos, se considera la facilidad de construcción, disposición en el ensamble, facilidad de mantenimiento, intercambiabilidad y operación de los mismos.

Se procedió a realizar el diseño y dimensionamiento de los elementos, mecanismos y equipo en general, realizando el cálculo respectivo a fin de conseguir una máquina que cumpla los requerimientos y expectativas, con estos resultados se realiza el modelado en un software CAD (Computer Aided Design), para posteriormente

realizar los planos de fabricación con lo que se inicia la construcción y posterior ensamble de la máquina.

Finalmente se realizó un análisis financiero para conocer los costos totales en la construcción del proyecto, su rentabilidad y el tiempo o periodo de recuperación de la inversión.

Abstract

The project aims at the design and construction of a permanent steel mold, also known as the shell, it has the assembly, opening and closing mechanisms necessary for its normal operation during the gravity casting of pieces of steel. Aluminum, it is possible that this project had its application in the development of the practices carried out by students in the foundry laboratory of the Mechanical Engineering Career of the Polytechnic Salesiana University (UPS).

The compilation of the information and the theoretical support inherent to the foundry processes was carried out contemplating the generalities involved in its execution, considering that the product obtained in the shell is an aluminum piece in the shape of an ashtray with an approximate weight of 0.83 kg

After compiling the theoretical framework, the selection of alternatives was made in terms of mechanisms and materials of the elements that are part of the project, for this the ease of acquisition and availability in the national market of the materials to be used is considered, in the construction of the parts, without leaving aside the machinability and its costs. On the other hand, when analyzing the mechanical elements, the ease of construction, the arrangement in the set, the ease of maintenance, the interchangeability and the operation of the same.

Proceeding to make the design and dimensioning of the elements, mechanisms and equipment in general, making the calculation respectful in order to obtain a machine that allows the needs and expectations, with these results is modeled in a CAD software (Computer Aided Design)), to then make the manufacturing plans with what starts the construction and subsequent assembly of the machine.

Finally, a financial analysis was carried out to know the total costs in the construction of the project, its profitability and the time of recovery of the investment.

ÍNDICE

CAPÍTULO I	1
Marco teórico	1
1.1. Antecedentes	1
1.2. Fundición	2
1.3. Diagrama de trabajo	2
1.4. Fundición con molde permanente	3
1.5. Fundición en coquilla	5
1.6. Coquilla	6
1.7. Características de la coquilla	7
1.8. Fundición en molde permanente por gravedad	8
1.8.1. Fases de la fundición	9
1.9. Elaboración de la coquilla	11
1.9.1. Consideraciones para el diseño de coquillas	11
1.10. Empleo de las coquillas	14
1.11. Ventajas de fundición en coquilla	15
1.12. Desventajas de fundición en coquilla	15
1.13. Materiales utilizados en la fabricación de la Coquilla	16
1.13.1. Acero ASTM A 36	17
1.13.2. Acero AISI H-10 (W-320)	17
1.13.3. Acero AISI 4340 (Bonificado 705)	18
1.13.4. Acero AISI/SAE 1018	18

1.13.5. Acero ASTM L2 (Acero plata)	19
1.13.6. Fundición nodular	19
CAPÍTULO II	21
Selección de alternativas de coquilla	21
2.1. Análisis de alternativas	21
2.1.1. Parámetro de funcionamiento	21
2.2. Factores de diseño de la coquilla	22
2.2.1. Factores medio ambientales	22
2.2.2. Vida útil del equipo	22
2.2.3. Costo del equipo	22
2.2.4. Apariencia	23
2.2.5. Materiales	23
2.3. Alternativas para la apertura y cierre de las mitades de la coquilla	23
2.3.1. Alternativa 1. Sujetador de acción rápida con mecanismo de palanca ...	23
2.3.2. Alternativa 2. Mecanismo piñón cremallera	24
2.3.3. Alternativa 3. Mecanismo cilindro pistón	25
2.4. Selección de la alternativa para el cierre y apertura de la coquilla	26
2.4.1. Análisis de la matriz	27
2.4.2. Matriz análisis cuantitativo de alternativas	30
CAPÍTULO III	31
Diseño y construcción de la coquilla	31
3.1. Factores de diseño del molde	31
3.1.1. Transferencia de calor	32

3.1.2.	Contracción del metal	32
3.1.3.	Presión metalostática	34
3.2.	Diseño de la coquilla	35
3.2.1.	Selección del material empleado en la construcción de la coquilla	35
3.2.2.	Masa requerida de aluminio	35
3.2.3.	Cálculo de calor contenido en el cenicero	37
3.2.4.	Tiempo de desmoldeo	38
3.2.5.	Espesor de molde	38
3.2.6.	Cálculo de la presión metalostática	42
3.2.7.	Diseño por contracción del aluminio	43
3.2.8.	Cálculo de la contracción durante la solidificación	44
3.3.	Colado	45
3.3.1.	Diseño del bebedero	45
3.3.2.	Tiempo de colado	46
3.3.3.	Cálculo del radio de la sección del bebedero	46
3.3.4.	Diseño del bebedero	47
3.3.5.	Diseño de la mazarota	47
3.3.6.	Velocidad de vertido	48
3.3.7.	Gasto volumétrico	48
3.3.8.	Tiempo de llenando del molde	49
3.4.	Diseño del soporte del molde	49
3.4.1.	Diseño del bastidor	49
3.4.2.	Diseño de los soportes del bastidor	50
3.4.3.	Diseño de las guías de la coquilla	57
3.4.4.	Cálculo estático de las guías	58

3.4.5.	Diseño de pernos (unión placa y coquilla)	62
3.5.	Soldadura del bastidor	64
3.6.	Cálculo del mecanismo de apertura y cierre de la coquilla	64
3.6.1.	Trayectoria de mecanismo de sujeción rápida	66
CAPÍTULO IV		69
Costos de inversión en la construcción de la coquilla		69
4.1.	Costos directos.	69
4.1.1.	Costos de materiales.	70
4.2.	Costos indirectos	77
4.2.1.	Costos de diseño y dirección técnica	77
4.2.2.	Gastos indirectos.	78
4.3.	Costo total en construcción de la coquilla para fundición de aluminio.	79
4.4.	Análisis financiero de la inversión.	80
4.4.1.	Depreciación.	80
4.4.2.	Mantenimiento del equipo	82
4.4.3.	Costos operativos	82
4.4.4.	Análisis del valor actual neto (VAN).	83
4.4.5.	Análisis de la tasa interna de retorno (TIR).	86
4.4.6.	Periodo de recuperación de la inversión (PRI).	87
Conclusiones		89
Anexos		92
Bibliografía		101

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Diagrama de trabajo.....	3
Figura 2. Etapas de fundido con moldes permanentes.....	5
Figura 3. Coquilla para fundición de aluminio - Práctica UPS.....	7
Figura 4. Fundición en coquilla por gravedad - Coquilla requerida.....	10
Figura 5. Sujetador de acción rápida con mecanismo de palanca.....	24
Figura 6. Mecanismo piñón cremallera.....	25
Figura 7. Partes principales de un cilindro hidráulico.....	26
Figura 8. Contracción de un fundido cilíndrico durante la solidificación y enfriamiento.....	33
Figura 9. Dimensiones del cenicero considerado.....	35
Figura 10. Obtención masa de aluminio sin alimentador en software.....	36
Figura 11. Masa de aluminio con alimentador en software.....	37
Figura 12. Circuito equivalente de la coquilla.....	40
Figura 13. Esfuerzo térmicos durante el calentamiento y enfriamiento en una plancha infinita.....	43
Figura 14. Diagrama de fuerzas.....	51
Figura 15. Fuerzas actuadas en el soporte A.....	51
Figura 16. Esquema de distribución de cargas, cortante, momento, para el soporte A del bastidor.....	52
Figura 17. Diagrama S-N para el acero.....	57
Figura 18. Diagrama de fuerzas ejercida por una parte de la coquilla, diagrama cortante, diagrama de momentos.....	59
Figura 19. Pernos de sujeción de las coquilla.....	62
Figura 20. Placa con los pernos, dimensiones de la placa.....	63

Figura 21. Mecanismo de apertura y cierre de coquilla	64
Figura 22. Esquema cinemático	66
Figura 23. Trayectoria de mecanismo de sujeción rápida.....	67
Figura 24. Mecanismo de acción rápida utilizada en Coquilla	68

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. 1 Puntos de fusión, calores específicos medios y calores latentes de fusión de algunos de los metales y aleaciones más empleadas en fundición	14
Tabla 2. 1 Análisis cuantitativo de las alternativas.....	30
Tabla 3. 1 Contracción volumétrica para distintos metales de fundición, debido a la contracción por solidificación y a la del sólido	34
Tabla 4. 1 Valores comerciales de materiales	70
Tabla 4. 2 Placas de acero A-36.....	71
Tabla 4. 3 Aceros especiales	71
Tabla 4. 4 Barras y elementos cilíndricos	72
Tabla 4. 5 Otras materias primas.....	72
Tabla 4. 6 Costos de insumos.....	73
Tabla 4. 7 Total costos de materia prima (CD1).....	74
Tabla 4. 8 Códigos sectoriales IESS - Técnicos del sector de metalmecánico.....	74
Tabla 4. 9 Costo hora – Técnicos del sector de metalmecánica.....	74
Tabla 4. 10 Costos de mano de obra (CD2).....	75
Tabla 4. 11 Valores de hora máquina.....	75
Tabla 4. 12 Costo de máquinas (CD3).....	75
Tabla 4. 13 Costos directos totales (CDT).....	76
Tabla 4. 14 Códigos sectoriales IESS - Jefe de primer nivel del sector de metalmecánica.....	78
Tabla 4. 15 Cálculo costo hora - Jefe de primer nivel del sector de metalmecánica	78
Tabla 4. 16 Costo de diseño y dirección técnica (CI1)	78
Tabla 4. 17 Gastos indirectos (CI2)	79
Tabla 4. 18 Costos indirectos totales (CIT).	79

Tabla 4. 19 Costo total en la construcción de la coquilla.....	79
Tabla 4. 20 Condiciones para la depreciación de la máquina.	81
Tabla 4. 21 Tabla de depreciación.	81
Tabla 4. 22 Costo de mantenimiento	82
Tabla 4. 23 Costos operativos	82
Tabla 4. 24 Historial inflación anual	84
Tabla 4. 25 Condiciones y cálculo de la TMAR.....	84
Tabla 4. 26 Cálculo de la TMAR Global	84
Tabla 4. 27 Cálculo del valor actual neto (VAN)	85
Tabla 4. 28 Periodo de recuperación de la inversión en la construcción de la coquilla	88

Introducción

Existen muchos procesos para la producción de piezas en serie, los cuales varían dependiendo del tipo de material, la complejidad de las formas a obtener, el tiempo e incluso el costos de fabricación, bajo estas premisas se plantea el diseño y construcción de un molde permanente para la fundición por gravedad de partes de aluminio, proyecto con el cual se pretende dar a conocer aspectos básicos inherentes a los proceso de fundición en coquilla, considerando los materiales idóneos para su fabricación.

En los procesos de producción de piezas en metal, aluminio, latón o zamak, posiblemente la más generalizada es la fundición por gravedad. El colado del metal fundido dentro de un molde y su solidificación por su propio peso, de ahí su nombre “por gravedad”, es una de las técnicas de moldeo más comunes. La fundición por gravedad, también llamada a coquilla, permite producir series cortas o largas de piezas, distintas aleaciones, con una calidad óptima y unos tiempos de puesta en marcha reducidos [1, p. 1].

Considerando los beneficios que ofrece la fundición en coquilla por gravedad y las prácticas que se realizan por parte de los estudiantes de la Carrera de Ingeniería Mecánica en el laboratorio de fundición, se vuelve una clara necesidad el proveer a este laboratorio, de un equipo que cumpla con los requerimientos y expectativas en cuanto al proceso de fundición antes citado, haciendo que los estudiantes que realicen las prácticas, puedan evidenciar este proceso y su producto final.

Objetivos.

Objetivo General.

Diseñar y construir una coquilla de 250mm x 250mm, para fundir aluminio en el laboratorio de fundición de la Carrera de Ingeniería Mecánica, Universidad Politécnica Salesiana (UPS), Campus sur sede Quito.

Objetivos específicos.

- Implementar un equipo para el desarrollo y aprendizaje de los estudiantes en el laboratorio de fundición de la Carrera de Ingeniería Mecánica de la UPS.
- Analizar 3 alternativas e identificar la alternativa apropiada para la construcción de un equipo que fomente el desarrollo académico.
- Diseñar y fabricar elementos y componentes de la alternativa seleccionada para la coquilla de fundición por moldeo permanente.
- Validar y analizar resultados de la coquilla mediante 4 pruebas de funcionamiento en el laboratorio.
- Hacer un análisis económico del tiempo de retorno de la inversión en la construcción de la coquilla.

Glosario

- **Moldeo en coquilla:** método de fundición de piezas de aluminio por gravedad [2].
- **Neumática:** es la tecnología que emplea un gas como modo de transmisión de la energía necesaria para mover y hacer funcionar mecanismos [3].
- **Fundición:** “proceso de producción de piezas metálicas a través del vertido de metal fundido sobre un molde hueco generalmente hecho en arena” [4].
- **Molde permanente:** son moldes metálicos que se reutilizan muchas veces en la fundición de metales [5].
- **Maquina:** conjunto de mecanismos y de piezas, tanto fijas como móviles, cuya marcha permite dirigir, regular, o en su defecto, cambiar la energía para llevar a cabo un trabajo con una determinada misión [6].
- **Aluminio:** Elemento químico metálico, de símbolo Al, número atómico 13, peso atómico 26.9815, que pertenece al grupo IIIA del sistema periódico. El aluminio puro es blando y tiene poca resistencia mecánica, pero puede formar aleaciones con otros elementos para aumentar su resistencia y adquirir varias propiedades útiles [7].
- **Metodología:** se define como el grupo de mecanismos o procedimientos racionales, empleados para el logro de un objetivo, o serie de objetivos que dirige una investigación científica [8].
- **Colada:** metal fundido [9].
- **Mazarota:** es como se conoce en fundición y metalurgia a los depósitos de metal fundido que se colocan en los sitios del molde que son críticos, que son zonas que tienden a generar defectos de fundición como rechupes en piezas de paredes gruesas [10].

- **Choque térmico:** esfuerzo que se desarrolla en un material de manera repentina al sufrir un cambio brusco de temperatura [11].

CAPÍTULO I

Marco teórico

1.1. Antecedentes

La Carrera de Ingeniería Mecánica de la UPS, ofrece en su propuesta académica materias como Tecnología sin arranque de viruta, dentro de la misma se estudia la fundición, que es uno de los procesos de producción de pieza en serie muy utilizados en la industria. Con la finalidad de aprender y evidenciar este proceso se realizan prácticas en el laboratorio de fundición de la UPS, cabe resaltar que las prácticas que se realizan actualmente son bajo el proceso de fundición con moldes de arena.

La fundición en arena, es el proceso de moldeo más generalizado, utiliza moldes de arena desechables para formar piezas metálicas complejas que pueden fabricarse prácticamente con cualquier aleación. Puesto que el molde de arena se puede destruir para extraer la pieza, denominada pieza de fundición, en general, el moldeo en arena posee una tasa baja de producción. El proceso de fundición en arena involucra el uso de hornos, metales, patrones y moldes de arena. El metal se funde en el horno y luego se vierte en la cavidad del molde de arena formado mediante el patrón. Este molde de arena se separa a lo largo de la línea de unión para poder extraer la pieza solidificada [12].

Es importante anotar que para la realización de este tipo de fundición se requiere por parte del estudiante, la construcción del molde que va a reproducir, adicional a esto se debe preparar la arena en la cual se va a moldear la cavidad con la forma que se desea obtener, luego de esto se prepara el molde en arena con el respectivo bebedero que es por donde se realiza el colado del material fundido. Luego de realizado todo

este procedimiento se realiza el colado del material fundido dentro del molde para obtener finalmente la pieza deseada, pero existen variables como la húmedas de la arena, la preparación compactación de la misma durante la formación de la cavidad, la formación del bebedero y las salidas de gases que inciden directamente en el éxito o fracaso de la pieza fundida a obtener.

Al ser el molde en arena un molde desechable, este se puede volver a reproducir en el caso de obtener piezas defectuosas, pero todo este proceso implica la utilización de mucho tiempo y de cierto grado de experticia durante la ejecución del mismo, razón por la cual no siempre se obtienen los resultados deseados por parte de los estudiantes durante la realización de las prácticas en el laboratorio

Con estos antecedentes se propone el diseño y construcción de una coquilla para utilizarla en las prácticas de laboratorio de procesos de fundición de la Carrera de Ingeniería Mecánica de la UPS. Por medio de este equipo se podrá realizar dichas prácticas de una forma más eficaz, debido a que el molde a utilizar será metálico permanente con el que se puede obtener piezas en serie en menor tiempo.

1.2. Fundición

Proceso de producción de piezas metálicas a través del vertido de metal fundido sobre un molde hueco generalmente hecho en arena. El principio de fundición: se funde el metal, se vacía en un molde y se deja enfriar [4, p. 12].

1.3. Diagrama de trabajo

Para terminar una pieza hace falta, como en todos los demás procedimientos industriales, someter las materias primas y las materias auxiliares a una serie ordenada de operaciones sucesivas que constituyen el llamado diagrama de trabajo.

[13], para un mejor entendimiento se sintetiza el diagrama de trabajo en el esquema que se presenta en la figura 1.

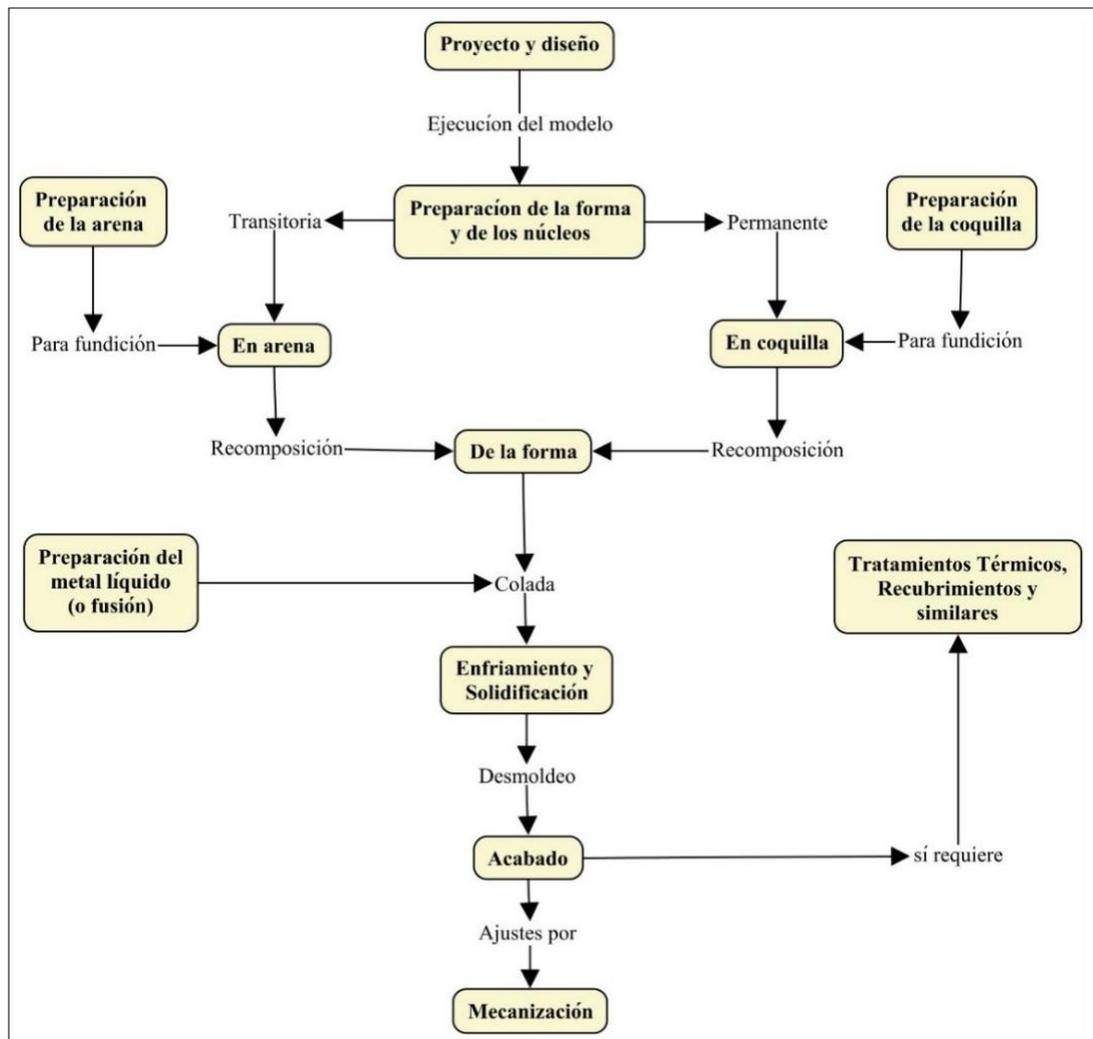


Figura 1. Diagrama de trabajo. Fuente: [13, p. 8]

1.4. Fundición con molde permanente

La fundición en molde permanente usa un molde de metal construido con dos secciones diseñadas para tener facilidad de apertura y cierre. Es común que estos moldes estén hechos de acero o hierro fundido. La cavidad, con el sistema de paso incluido, se maquina en las dos mitades para proporcionar dimensiones exactas y buen acabado de la superficie. Los metales que es común fundir en moldes

permanentes son aluminio, magnesio, aleaciones a base de cobre y hierro colado [14, p. 226].

La fundición en molde permanente es un procedimiento para obtener piezas fundidas de elevada calidad y precisión de la superficie [15].

Entre las ventajas de la fundición con moldes permanentes incluyen buen acabado de la superficie y control dimensional estrecho, como ya se dijo. Además la solidificación más rápida ocasionada por el molde metálico da como resultado una estructura de grano más fina, por lo que se producen fundidos más fuertes. El proceso se limita por lo general a metales con punto de fusión bajos [14, p. 227].

A continuación se muestra la respectiva clasificación:

- Fundición en coquilla.
- Fundición a baja presión.
- Fundición en matrices.
- Fundición hueca.

La figura 2, muestra de forma gráfica el proceso de fundición en molde permanente por gravedad, en el mismo se puede observar cada una de las etapas necesarias para la obtención de una pieza de metal fundido, este es el principio que servirá de base para el desarrollo del proyecto en cuestión.

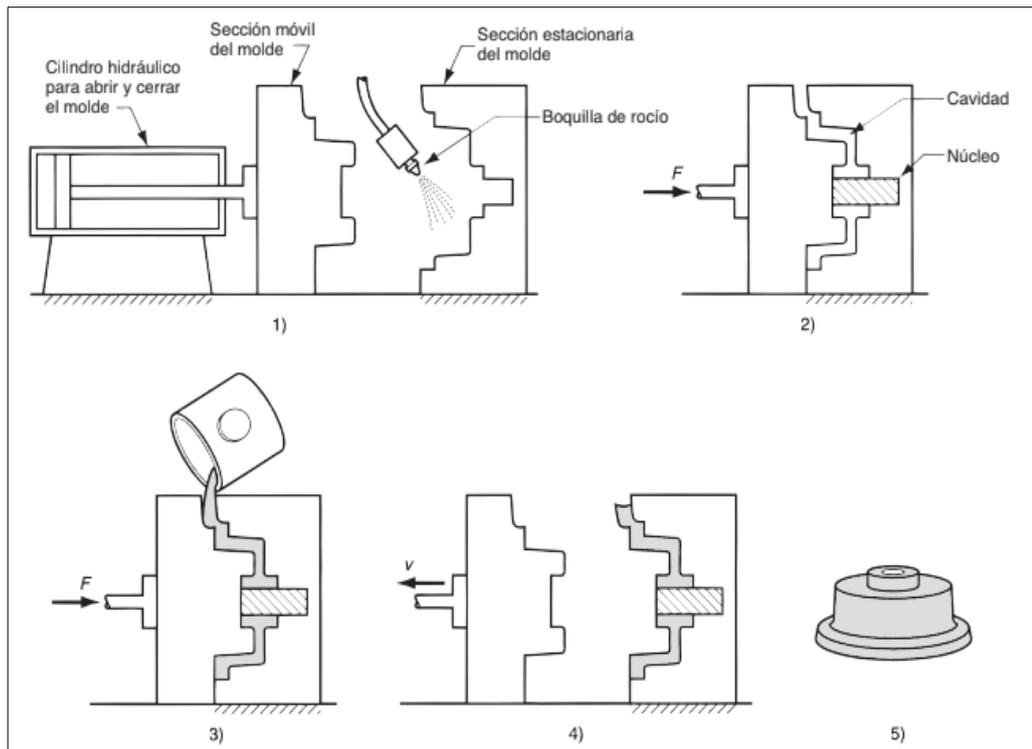


Figura 2. “Etapas de fundido con moldes permanentes: 1) se precalienta y recubre el molde, 2) se inserta núcleos (si hay) y se cierra molde, 3) se vierte metal derretido en el molde y 4) se abre el molde. 5) La pieza terminada se presenta” Fuente: [14].

1.5. Fundición en coquilla

La fundición en coquilla usa moldes permanentes que están construidas de fundición gris de alta calidad o de acero aleado. Por lo tanto su construcción es bastante más cara que la de un molde de arena. Por ello, la fundición en coquilla solo resulta económica si hay que fabricar un número elevado de piezas. [16]

La fundición en coquilla tiene la finalidad de obtener piezas terminadas o semiterminadas con características como:

- Buen acabado superficial
- Bajos costos en maquinados posteriores

- Repetibilidad en las dimensiones
- Series largas de producción

La fundición en coquilla utiliza diferentes tipos de moldeo:

- Moldeo por cothias.
- Moldeo por inversión.
- Moldeo en coquilla por gravedad. [17]

1.5.1. Moldeo en coquilla por gravedad

El colado del metal fundido dentro de un molde y su solidificación por su propio peso, es una de las técnicas de moldeo más comunes. La fundición por gravedad, también llamada a coquilla, permite producir series cortas o largas de piezas, distintas aleaciones, con una calidad óptima y unos tiempos de puesta en marcha reducidos. Este método nos aporta varias ventajas: Rapidez en la elaboración del molde, la posibilidad de utilizar distintas aleaciones y poder realizar series cortas de piezas a un coste menor [1, p. 1].

1.6. Coquilla

Coquilla es un molde permanente metálico diseñado en dos secciones, para su funcionamiento se requiere de un mecanismo que permita abrir y cerrar con facilidad los moldes acoplándose entre sí, con precisión. La fundición en coquilla permite obtener piezas de buen acabado superficial y dimensionalmente se obtienen tolerancias cerradas, obteniéndose piezas con medidas exactas. [2]

Estos moldes son fabricados en hierro o acero, para el caso específico de este proyecto el molde será fabricado en acero AISI H11, estos tipos de moldes son

utilizados en la fundición de piezas en serie y debido a que estos moldes son permanentes metálicos están diseñados para fundir un sin número de piezas con lo que el costo y tiempo de producción es mucho menor en comparación a los procesos de fundición en arena, cabe destacar que las piezas obtenidas en estos moldes son de gran calidad superficial y dimensional, logrando alcanzar repetitividad en las piezas obtenidas.

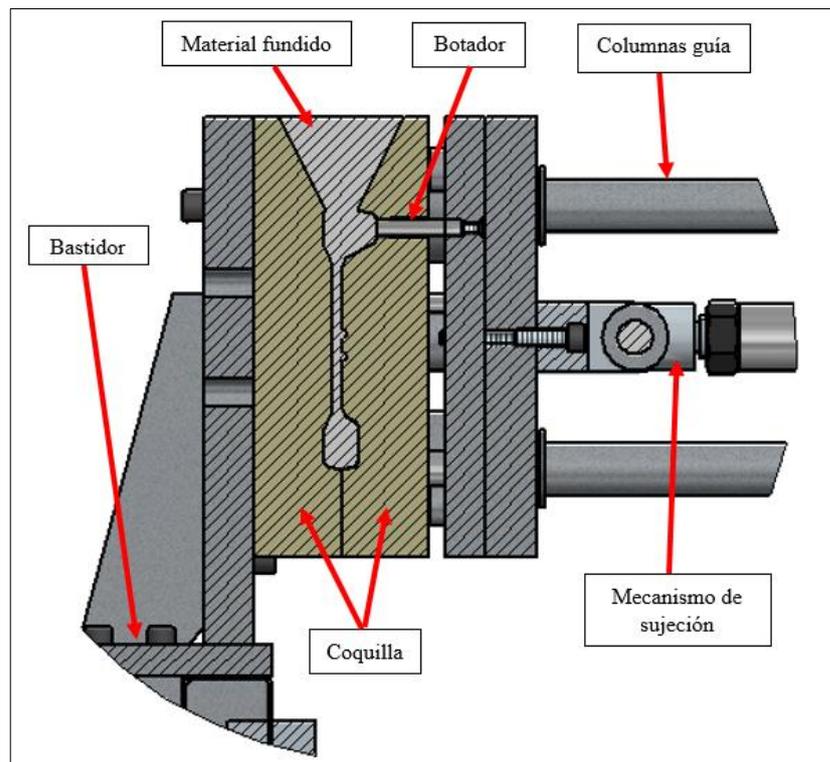


Figura 3. Coquilla para fundición de aluminio - Práctica UPS

(Realizado por: Juan Jacho & Patricio Padilla)

1.7. Características de la coquilla

En la actualidad, el proceso de fundición por molde permanente es uno de los procesos ideales que ha perdurado en el tiempo, siendo utilizado en la fabricación de piezas y elementos de máquina, utilizadas en la industria.

El proceso de moldeo permanente en coquilla, requiere de ciertas condiciones para su ejecución, entre ellas necesita de un equipo o máquina de maniobra manual o automática que hará posible el cierre y apertura de los moldes tanto para el colado como para la extracción del producto final, en el caso particular del proyecto en cuestión se utiliza un sistema de extracción de la pieza fundida que está basado en placas expulsoras con botadores o elementos de expulsión. De la misma manera con la finalidad de ejecutar el trabajo de una forma segura y ágil, se requiere de un bastidor sobre el cual estarán montados los moldes, este bastidor dispone de columnas guías sobre las cuales se desplaza el molde móvil durante la apertura y cierre del mismo.

Por último, con el objetivo de conseguir un trabajo eficaz de los elementos y mecanismos que forman parte del proyecto se realizara el respectivo cálculo, esto será revisado en el capítulo 3 del presente proyecto.

1.8. Fundición en molde permanente por gravedad

En la fundición en molde permanente (también llamada fundición en molde duro), se fabrican dos mitades de un molde con materiales de alta resistencia a la corrosión y a la fatiga térmica, como hierro fundido, acero, latón, grafito o aleaciones metálicas refractarias. Las partes que más se producen mediante este proceso son los pistones automovilísticos, cabezas para cilindros, bielas, discos para engranes de electrodomésticos y artículos de cocina [18, p. 32].

Este tipo de fundición es utilizado para piezas donde su acabado superficial y dimensiones no están sujetos a restricciones de calidad, debido a que la única fuente de energía que obliga al metal a llenar la cavidad del molde es la fuerza de gravedad [19].

Las piezas coladas en coquillas tienen una superficie pareja y limpia por lo que, generalmente no es necesario un mecanizado posterior de acabado. La exactitud de las medidas de las piezas es mucho más grande que la fundición en arena y menor que la fundición por inyección [4, p. 23]

1.8.1. Fases de la fundición

1. Sumergir una cuchara metálica en el crisol y tomar el volumen de colada (metal fundido) que se necesite, esto es importante para llenar la cavidad en la coquilla y dosificando el material fundido.
2. Llenado o cargado de material en la coquilla con el metal fundido se efectúa por la bajada de la colada por los canales de alimentación a una velocidad adecuada para obtener un grano uniforme al momento del enfriamiento, hasta el llenado de la coquilla.
3. Se debe precalentar el molde para evitar el choque térmico entre la coquilla y el metal fundido, se lo puede realizar con un soplete conectado a un tanque de gas, la superficie de la cavidad del molde de la coquilla debe estar a una temperatura de entre 150°C y 350°C, considerando para fines de cálculo una temperatura de $T_0 = 200^\circ\text{C}$, para el diseño del molde [15].

En la figura 4, se muestra de forma gráfica las fases del proceso de fundición con la coquilla a construir en este proyecto.

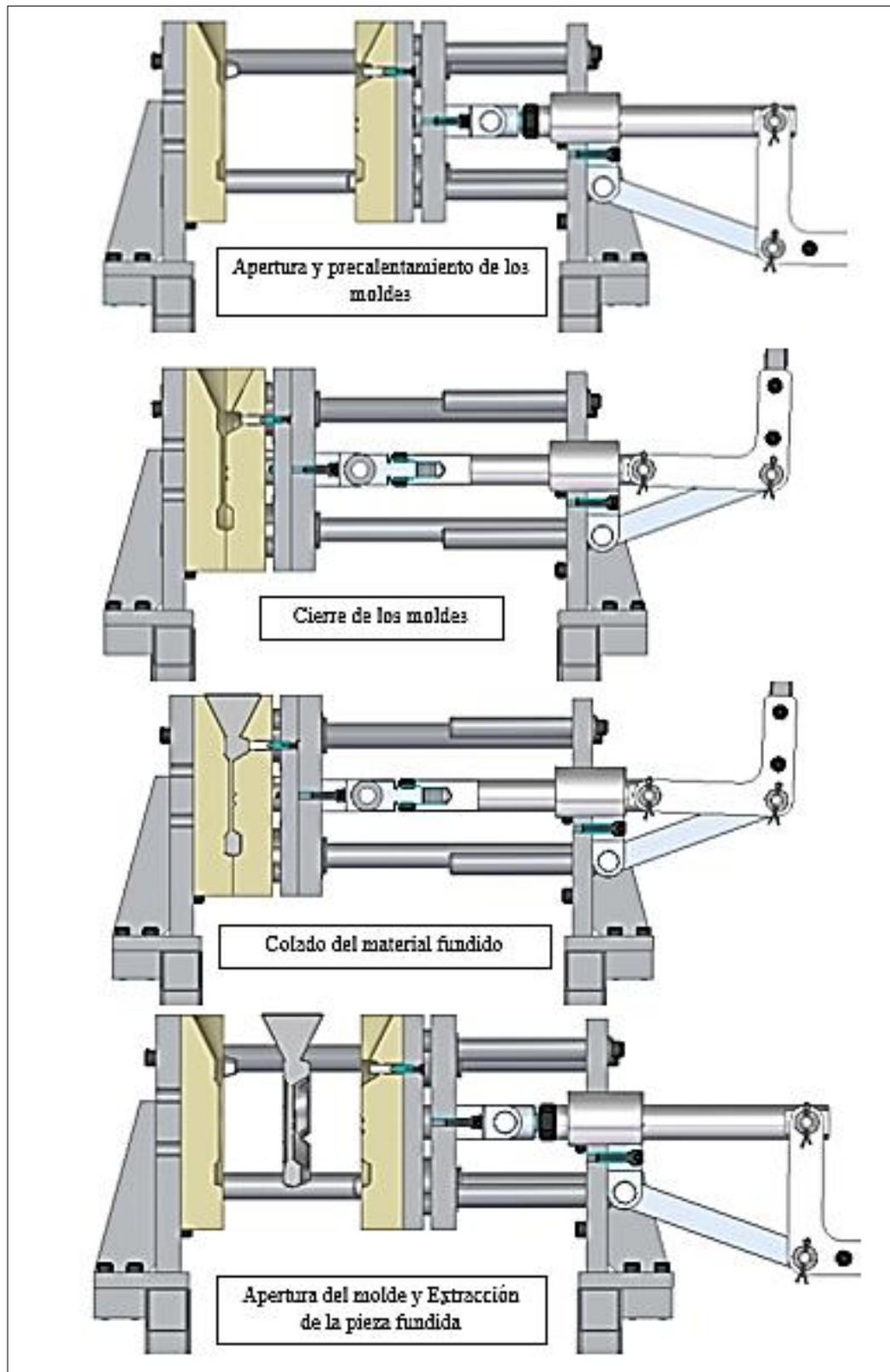


Figura 4. Fundición en coquilla por gravedad - Coquilla requerida

(Realizado por: Juan Jacho & Patricio Padilla)

1.9. Elaboración de la coquilla

Debido a los costos que conlleva la elaboración de moldes metálicos, desde el material idóneo y su fabricación, hay que considerar que el volumen de producción de piezas en serie debe justificar dicha inversión.

Los moldes metálicos para fundición permanente pueden ser construidos en acero, fundición gris u otros materiales con propiedades refractarias. Para el caso particular del diseño y posterior construcción de los moldes del proyecto en cuestión se utilizará un acero BOHLER W320 (AISI H10), el cual es un acero para trabajo en caliente de gran resistencia, material ideal para este tipo de trabajos.

A diferencia del moldeo en arena, en este tipo de fundición, el producto obtenido presenta mejores acabados superficiales y tolerancias más estrechas, con una gran mejora en las propiedades mecánicas.

1.9.1. Consideraciones para el diseño de coquillas

Este tipo de fundición requiere de ciertos lineamientos y consideraciones en el diseño para facilitar la producción, evitando posibles inconvenientes durante la ejecución que podrían desembocar en defectos con el producto final.

1.9.1.1. Cavidad del molde

La cavidad del molde para la obtención de la pieza fundida se realizara en dos mitades las cuales al ensamblarlas o unir las forman la pieza deseada. La forma exterior dependerá de la cantidad de calor a la cual este sometido, pudiendo ser de forma cilíndrica o prismáticas.

1.9.1.2. Geometría

La fundición se utiliza para la obtención de piezas con relativa complejidad, la simplificación del diseño proporcionara una fundición fácil y eficaz, hay que evitar en lo posible formas y geometrías que sean difíciles de construir en el molde o que puedan comprometer la extracción del producto final, con estas consideraciones se simplifica y agiliza la construcción del molde a la vez que se suprime la utilización de noyos.

1.9.1.3. Esquinas

Se debe evitar los ángulos agudos en la construcción del molde, debido a que son lugares propensos a la concentración de esfuerzos los cuales pueden causar grietas y defectos en la fundición. Por esta razón se recomienda el redondeo de las esquinas interiores.

1.9.1.4. Espesores de sección

El espesor de la sección debe ser uniforme a fin de evitar bolsas de contracción, las secciones más gruesas necesitan un mayor volumen por lo que tarda más tiempo en solidificar y enfriar.

1.9.1.5. Ángulo de salida

Las superficies del molde deben tener unos ángulos mínimos de desmoldeo es decir en la dirección que se extrae la pieza facilitando la extracción es recomendado poseer ángulos de salida entre 2° a 3° . [20]

1.9.1.6. Espesor

La coquilla no debe ser muy gruesa, se plantea un problema debido a que el enfriamiento es más lento, ocasionando porosidades en las piezas obtenidas, retardos en la producción y desperdicios que desembocan en pérdidas económicas. Por lo general cuando el espesor es irreducible se puede incorporar métodos de canalización de circulación de agua o aire.

1.9.1.7. Escapes o salidas de aire

Las salidas de aire o respiraderos son pequeños canales o perforaciones con profundidades de 0.1 a 0.2 mm los cuales van en las esquinas de la coquilla.

Es importante realizar estas salidas de aire para la obtención de piezas fundidas, evitando porosidades o defectos que puedan presentarse debido al aire atrapado durante el colado del material fundido.

1.9.1.8. Mecanismos de cierre

Al momento de colar el molde debe estar bien cerrado y enclavado, por ende es de gran importancia elaborar un mecanismo eficiente y fácil de manipular.

1.9.1.9. Expulsores

Los expulsos se encargan de empujar la pieza fundida de forma paralela, de materiales apropiados, considerando el tipo de material a fundir y si se encuentra expuesto directamente o no a la colada. Se pueden utilizar para salida de aire, estos son diseñados para no producir esfuerzos en la coquilla.

1.9.1.10. Guías del molde

Estos elementos permiten centrar las dos mitades de la coquilla ayudando a que las cavidades de ambas partes se mantengan concéntricas entre sí, estas guías se componen de un macho y una hembra con el fin de que encajen y se acoplen correctamente, para este proyecto utilizaremos Acero bonificado 705 (AISI 4340).

1.10. Empleo de las coquillas

Generalmente las coquillas son empleadas para fundir materiales metálicos como el aluminio, el magnesio, algunas aleaciones de cobre, entre otros materiales con punto bajo de fusión, en este caso específico se utilizara para fundir piezas de aluminio con forma de cenicero con un peso aproximado de 0,83 kg.

En la tabla 1.1 se muestran varias características de algunos metales y otras aleaciones:

Tabla 1. 1 Puntos de fusión, calores específicos medios y calores latentes de fusión de algunos de los metales y aleaciones más empleadas en fundición [21].

Metal / Aleación	Temperatura de fusión (°C)	Calor específico del sólido kcal / (kg.°C)	Calor específico del líquido kcal / (kg.°C)	Calor latente de fusión kcal / kg
Estaño	232	0.056	0.061	14
Plomo	327	0.031	0.04	6
Zinc	420	0.094	0.121	28
Magnesio	650	0.25	----	72
Aluminio	657	0.23	.0.26	95
Latón	900	0.092	----	----
Bronce	900 a 960	0.09	----	----
Cobre	1083	0.094	0.156	43
Fundición gris	1200	0.16	0.20	70
Fundición blanca	1100	0.16	----	----
Acero	1400	0.12	----	50
Níquel	1455	0.11	----	58

1.11. Ventajas de fundición en coquilla

Las piezas metálicas elaboradas en coquilla se precian de obtener un acabado superficial de buena calidad, razón por la cual casi no necesitan de mecanizados posteriores.

Se pueden elaborar piezas con agujeros o roscas exteriores a diferencia de las piezas elaboradas por colado en arena.

Geoméricamente las piezas tienen una mayor exactitud en las medidas deseadas a diferencia de la fundición por arena.

La estructura de la pieza fundida en coquilla es densa y grano muy fino, por lo que las propiedades mecánicas en estas son mejores, que las piezas coladas en molde en arena. Por esta razón es posible disminuir el peso de las piezas fundidas en coquilla, consiguiéndose un ahorro del material [15].

La fundición en coquilla permite realizar más piezas en relación al moldeo en arena, ahorrando tiempo y recursos, siempre y cuando se realice piezas en serie.

1.12. Desventajas de fundición en coquilla

La coquilla tiene un costo elevado de construcción, la misma se debe considerar para producción en serie de las piezas.

El tamaño de las piezas a fundir no debe ser de grandes dimensiones, debido al mecanismo de apertura y cierre del molde, el cual por el hecho de ser manual debe ser de fácil manipulación, para evitar complicaciones.

1.13. Materiales utilizados en la fabricación de la Coquilla

En la fabricación o construcción de los distintos elementos que van a formar parte del proyecto se requiere la utilización de distintos materiales, los cuales varían dependiendo del tipo de trabajo a realizar y las condiciones bajo las cuales van a realizar ese trabajo, cabe destacar que se debe considerar la disponibilidad de los materiales en el mercado nacional, prevaleciendo la utilización de distintos tipos de acero.

Entre los materiales de construcción, el acero tiene una posición relevante; combina la resistencia mecánica, su capacidad de ser trabajado, disponibilidad y su bajo costo. Siendo así, es fácil comprender la importancia y el amplio uso de los aceros en todos los campos de la ingeniería. [22]

Entre las propiedades más importantes podemos resaltar las siguientes:

- Dureza.
- Resistencia.
- Ductilidad.
- Maleabilidad.
- Tenacidad

Los materiales utilizados en la construcción de la coquilla y el equipo correspondientes son:

- Acero ASTM A-36.
- Acero AISI H-10 (W-320).
- Acero AISI 4340 (Bonificado 705).

- Acero SAE 1018.
- Acero ASTM L2 (Acero plata).
- Fundición nodular.

1.13.1. Acero ASTM A 36

La mayor parte de los aceros estructurales reciben la designación de los números ASTM. Un grado frecuente es el ASTM A36, que tiene un punto de fluencia mínimo de 36000 psi (248 MPa), y es muy dúctil. En resumen es un acero con bajo carbón y laminado en caliente, disponible en láminas, placas, barras y perfiles estructurales. [23]

Este tipo de acero es utilizado en la construcción de elementos estructurales del equipo como el bastidor, placas base, placas de soporte y apoyo, elementos que pueden ser empernados o soldados.

1.13.2. Acero AISI H-10 (W-320)

Acero especial para herramientas de trabajo en caliente de gran resistencia, principalmente para el procesamiento de aleaciones de metales pesados, como mandriles, troqueles y recipientes para tubos de metal y extrusión, herramientas de extrusión en caliente, herramientas para fabricación de cuerpos huecos, herramientas para producción de tornillos, tuercas, remaches y pernos. Para herramientas de fundición a presión, moldes de inyección, insertos a presión, cuchillas de corte en caliente, moldes de plástico. [24]

En el proyecto en cuestión, se utilizara este acero para la construcción de las mitades de la coquilla, es decir el molde permanente.

1.13.3. Acero AISI 4340 (Bonificado 705)

El acero 705 es un acero al molibdeno más cromo y níquel. El molibdeno tiene una solubilidad limitada y es un buen formador de carburos. Ejerce un fuerte efecto sobre la templabilidad y de manera semejante al cromo, aumenta la dureza y resistencia a alta temperatura de los aceros. Menos susceptibles al fragilizado debido al revenido, que los demás aceros aleados para maquinaria. Al combinarse con níquel y cromo soporta altas exigencias de resistencia y tenacidad en secciones grandes. Su contenido de níquel le da más templabilidad, lo mismo que la resistencia en caliente. [25]

El acero 705 combina alta resistencia mecánica (la mayor del mercado) con buena tenacidad. Este acero en forma standard es suministrado bonificado, por lo que no se requería luego un tratamiento térmico, sin embargo, si se desea mejores propiedades, puede ser templado al aceite. Susceptible de temple por inducción y también puede someterse a tratamiento de nitrurado. [25]

Este acero será utilizado principalmente en la construcción de las guías principales debido a los esfuerzos de flexión que soporta, además en elementos cilíndricos que estarán sometidos a esfuerzos similares como los espaciadores entre el molde móvil y la placa posterior deslizante.

1.13.4. Acero AISI/SAE 1018

Es un acero de cementación no aleado, calidad AISI 1018, principalmente utilizada para la elaboración de levas, bujes, pivotes u otras piezas pequeñas, exigidas al desgaste y donde la dureza del núcleo no es muy importante. [26]

1.13.5. Acero ASTM L2 (Acero plata)

La designación de “Acero Plata” se debe a la superficie brillante y plateada que estos aceros rectificadas adquieren después de un acabado de pulido. Combinan una alta dureza con gran capacidad de corte. Constituyen una clase especial de aceros para trabajos en frío [27, p. 1].

Se utiliza en la fabricación de herramientas y piezas de precisión, como punzones, guías y vástagos, muestras de tipo botón y trozos irregulares, machos de roscar, fresas, herramientas de brocar, sacadores de perforación, los pernos expulsores, brocas y llaves, instrumentos quirúrgicos, escariadores, avellanadores, clavijas, las herramientas de grabado, sierras para cortar metal, taladros dentadas, raspando herramientas, cortadoras de artes de pesca, mortaja, cinceles de madera, barras de guía, entre otras [27, p. 5].

Este acero será utilizado en la fabricación de expulsores que ayudaran a la extracción de la pieza fundida, cabe resaltar que estos elementos deberán ser tratados térmicamente previo al ensamble en el equipo.

1.13.6. Fundición nodular

La Fundición Nodular es más cara que la fundición gris, pero aumenta mucho las características mecánicas dado que la mayor parte del contenido de carbono en el hierro nodular, tiene forma de esferoides. Esta microestructura produce propiedades deseables como alta ductilidad, resistencia, buena maquinabilidad, buena fluidez para la colada, buen endurecimiento y tenacidad. [4]

La Fundición nodular se caracteriza porque en ella el grafito aparece en forma de esferas minúsculas y así la continuidad de la matriz se interrumpe mucho menos que

cuando se encuentra en forma laminar, esto da lugar a una resistencia a la tracción y tenacidad mayores que en la fundición gris ordinaria. [28]

La fundición nodular por sus propiedades mecánicas y costo comercial, es una alternativa válida para sustituir al bronce fosfórico en la construcción de los bocines de la placa central, la cual contiene al conjunto móvil, el cual se desplazará para la apertura y cierre de la coquilla.

CAPÍTULO II

Selección de alternativas de coquilla

2.1. Análisis de alternativas

El presente proyecto será diseñado para colar metal aluminio en molde permanente de 250 mm x 250 mm x 50 mm.

El análisis de alternativas se centrará en el mecanismo de sujeción, que permitirá el desplazamiento del molde móvil, para la apertura y cierre de las mitades que conforman la coquilla, cabe destacar que se ha considerado que el molde o coquilla no presenta alternativas de diseño, este se realiza a través de un software CAD de diseño mecánico y mediante un centro de mecanizado se trabaja en el acero AISI H10, obteniendo el molde.

Se considera el cierre y apertura de la coquilla, para el diseño de un mecanismo el cual permita desplazar con facilidad el molde móvil por el operario que va a ejecutar el proceso.

2.1.1. Parámetro de funcionamiento

- La máquina será diseñada con la finalidad de abrir y cerrar la coquilla con facilidad.
- La máquina debe permitir sujetar las mitades de la coquilla, por medio soporte metálico previamente diseñado.

La coquilla para fundición será manipulada por una persona, la misma que empleará una fuerza media sobre una palanca, con un trabajo prolongado de

aproximadamente 15 kg ($F_h = 147 \text{ N}$), a una velocidad tangencial de 1 m/s y con un radio de 400 mm [15].

2.2. Factores de diseño de la coquilla

2.2.1. Factores medio ambientales

El equipo en cuestión, será operado en los laboratorios de mecánica en la Universidad Politécnica Salesiana con una temperatura de operación de 10 °C a 20 °C con una humedad relativa al 70 %.

2.2.2. Vida útil del equipo

Esto dependerá del trabajo que cada uno de los elementos, en particular de aquellos que están sometidos a desgaste debido al tipo de trabajo que realizan al conjugarse con los demás elementos que forman parte del equipo.

El tiempo de vida útil del equipo se cuantificará de dos maneras:

- Por el tiempo de uso del equipo: para un uso medio del equipo en cuestión la vida que se estima para el mismo será de 15 años.
- Por el número de piezas: las piezas a fundirse son ceniceros se estima a unas 1000 piezas por coquilla.

2.2.3. Costo del equipo

Para el costo se tomará en cuenta varios aspectos que se enumerarán a continuación, más adelante en el capítulo 4 se detallarán los mismos.

- Costos de materiales
- Costo de mano de obra

- Ensamble y pruebas
- Diseño y dirección técnica

2.2.4. Apariencia

El equipo trabajara a temperatura, donde la apariencia no es de gran importancia considerando que es un equipo con el cual los estudiantes de ingeniería mecánica puedan efectuar las prácticas de fundición, esta máquina será funcional.

2.2.5. Materiales

Los materiales esenciales para el diseño de esta máquina son:

- Acero AISI H10
- Acero SAE 4340
- Acero ASTM A-36

2.3. Alternativas para la apertura y cierre de las mitades de la coquilla

Existen diferentes tipos de mecanismos, los cuales sirven para abrir y cerrar distintos elementos o partes de máquina, sin embargo se tomará en cuenta factores como la facilidad de diseño, costo y material en el mercado.

2.3.1. Alternativa 1. Sujetador de acción rápida con mecanismo de palanca

Los sujetadores de acción rápida o clamps con mecanismo de palanca, están diseñado para permitir una tolerancia máxima para facilitar la carga y descarga de piezas de trabajo [29].

Los dispositivos para acción y sujeción rápida ofrecen soluciones eficaces cuando se necesita sujetar o posicionar una pieza de trabajo de forma económica y, sobre todo,

rápido. Los dispositivos de sujeción rápida funcionan según el principio de palanca acodada y se pueden accionar con poco esfuerzo. Un mecanismo de bloqueo o auto bloqueante se acciona automáticamente si se sobrepasa la posición en punto muerto (retranqueo de los tres puntos articulados). Los dispositivos de sujeción rápida son una solución óptima para dispositivos de taladrado, soldadura, rectificado, control, etc. La fuerza de sujeción puede ser regulada [30]. El mecanismo en mención se observa en la figura 5.



Figura 5. Sujetador de acción rápida con mecanismo de palanca. Fuente [30]

2.3.2. Alternativa 2. Mecanismo piñón cremallera

Es un mecanismo compuesto por un piñón o rueda dentada de dientes rectos, que engrana con una barra dentada denominada cremallera de forma que, cuando el piñón gira, la barra dentada se desplaza longitudinalmente. El mecanismo piñón-cremallera transforma el movimiento giratorio de un eje, en el que va montado un piñón, en movimiento rectilíneo, al engranar los dientes del piñón con los dientes de una barra prismática (cremallera) que se desplaza longitudinalmente. Para que el engrane sea

posible y el piñón pueda deslizarse sobre la cremallera es preciso que tanto piñón como cremallera posean el mismo módulo [31].

Este tipo de mecanismo es reversible y se puede apreciar en la figura 6. Es decir puede funcionar aplicando un movimiento de giro al piñón que es transmitido a la cremallera desplazándolos de forma lineal, o viceversa, si se administran movimientos lineales alternativos a la cremallera, éstos se convierten en movimientos rotativos en el piñón [31].

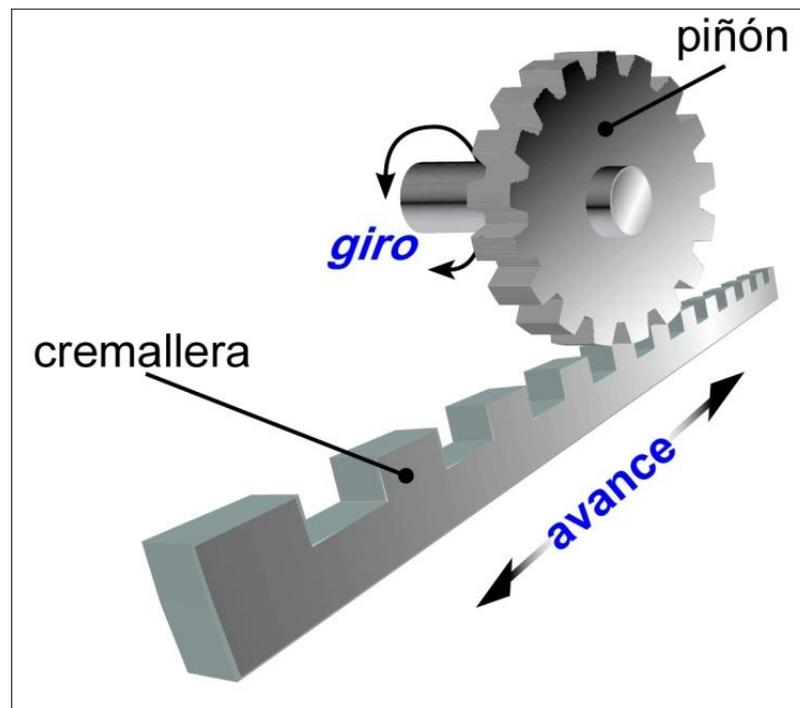


Figura 6. Mecanismo piñón cremallera. Fuente [31].

2.3.3. Alternativa 3. Mecanismo cilindro pistón

Un cilindro actuador es un dispositivo que convierte la potencia fluida a lineal, o en línea recta, fuerza y movimiento. Puesto que el movimiento lineal es un movimiento hacia adelante y hacia atrás a lo largo de una línea recta, este tipo de actuadores se conoce a veces como motor recíproco, o lineal. La presión del fluido determina la

fuerza de empuje de un cilindro, el caudal de ese fluido es quien establece la velocidad de desplazamiento del mismo. La combinación de fuerza y recorrido produce trabajo, y cuando este trabajo es realizado en un determinado tiempo produce potencia. Ocasionalmente a los cilindros se los llama motores lineales [32].

El cilindro consiste en un émbolo o pistón operando dentro de un tubo cilíndrico. Los cilindros actuadores pueden ser instalados de manera que el cilindro esté anclado a una estructura inmóvil y el émbolo o pistón se fija al mecanismo que se accionará, o el pistón o émbolo se puede anclar a la estructura inmóvil y el cilindro fijado al mecanismo que se accionará. Los cilindros actuadores para los sistemas neumáticos e hidráulicos son similares en diseño y operación [32]. El mecanismo se puede divisar en la figura 7.

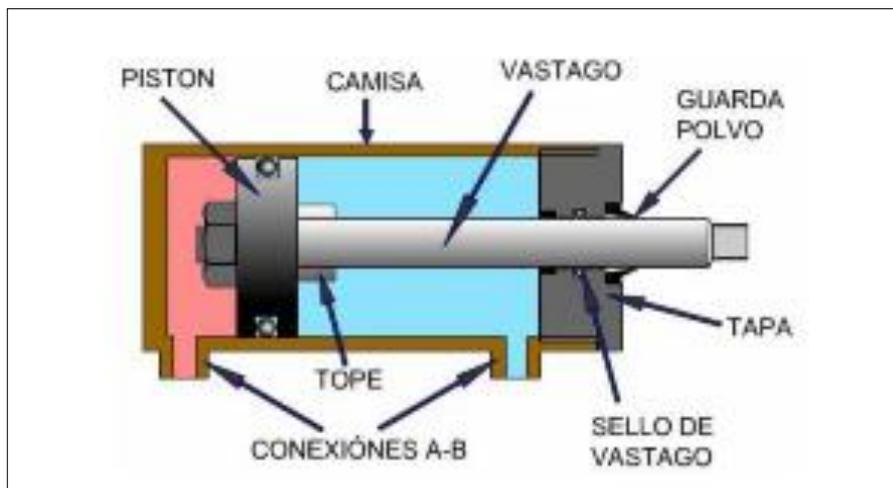


Figura 7. Partes principales de un cilindro hidráulico. Fuente [32].

2.4. Selección de la alternativa para el cierre y apertura de la coquilla

La selección de un dispositivo que permita abrir y cerrar de forma fácil y efectiva las mitades que comprenden la coquilla, está determinado por el método cuantitativo, este se basa en una escala numérica que permite valorar los diferentes aspectos para cada alternativa.

X1: Mecanismo sujetador de acción rápida

X2: Mecanismo piñón cremallera

X3: Mecanismo cilindro pistón

La matriz de análisis empleará una escala del 1 a 5 donde:

5: excelente

4: muy buena

3: buena

2: mala

1: muy mala

2.4.1. Análisis de la matriz

2.4.1.1. Costo

- Alternativa 1

Sujetador de acción rápida con mecanismo de palanca tiene un costo de \$100

- Alternativa 2

Piñón cremallera, se estima en el mercado en \$200.

- Alternativa 3

Cilindro pistón cremallera, tiene un valor de \$500.

En conclusión el mecanismo sujetador de acción rápida, es de menor costo por tal motivo es escogido en la alternativa de costo.

2.4.1.2. Operabilidad y capacidad de producción de los mecanismos

- Alternativa 1

Es sencillo de operar, este requiere una mínima fuerza para ser operado.

- Alternativa 2

Fácil de ejecutar, el avance es más lento porque se sujeta al paso del piñón.

- Alternativa 3

Su funcionamiento es semiautomático, lo cual necesita capacitar al operador para la utilización del dispositivo.

Se concluye la alternativa 1 idónea para el proyecto, porque es más rápida y la capacitación de manipulación no es compleja.

2.4.1.3. Facilidad de construcción

- Alternativa 1

La construcción rápida este requiere de una excentricidad para la construcción.

- Alternativa 2

Tiene un grado de complejidad para la construcción porque se debe maquinar el piñón y la cremallera eso requiere de tiempo y precisión.

- Alternativa 3

Se lo adquiere en el mercado, lo difícil escoger un pistón adecuado que aplique la fuerza requerida para el cierre de la coquilla.

En conclusión la alternativa 1 es ideal para el proyecto por la facilidad que presenta.

2.4.1.4. Disponibilidad de la materia prima

- Alternativa 1

El mecanismo está disponible en el mercado las distintas partes en una gran variedad.

- Alternativa 2

Requiere de un análisis para su construcción, se tiene que definir la dureza del piñón por el desgaste con la cremallera.

- Alternativa 3

Se evalúa la fuerza necesaria para abrir y cerrar la coquilla, para su adquisición.

2.4.1.5. Vida útil

- Alternativa 1

Tiene una vida útil de 10 años con la lubricación adecuada.

- Alternativa 2

La cremallera tiende a desgastarse más rápido por ser menos duro que el piñón, por consiguiente necesita ser reemplazado dependerá de la frecuencia de uso.

- Alternativa 3

El pistón necesita mantenimiento cada cierto periodo para su duración.

2.4.2. Matriz análisis cuantitativo de alternativas

Tabla 2. 1 Análisis cuantitativo de las alternativas.

Alternativas	Costo	Operabilidad	Facilidad de construcción	Capacidad de producción	Disponibilidad de la materia prima para la construcción	Vida útil	Valor Global	Valor porcentual
X1	5	4	5	4	5	5	28	93 %
X2	4	3	3	3	4	4	21	70 %
X3	1	2	3	4	5	2	20	56 %

(Realizado por: Juan Jacho & Patricio Padilla)

Conclusión

La alternativa 1 que corresponde al sujetador de acción rápida, es el mecanismo escogido por lo expuesto mediante el método cuantitativo al alcanzar un valor porcentual del 93 % y por lo acotado anteriormente en cada uno de los aspectos evaluados, debido a que el equipo debe permitir el cumplimiento de la realización de las prácticas de laboratorio por parte de los estudiantes de Ingeniería Mecánica, no necesita ser un equipo sofisticado de alta producción sino un equipo manual operativo, práctico y funcional.

CAPÍTULO III

Diseño y construcción de la coquilla

En este capítulo se desarrolla la designación de materiales mediante el estudio de los distintos elementos que constituyen el equipo coquilla, este análisis será realizado acorde a las cargas que va a soportar cada elemento mecánico que forma parte del proyecto.

3.1. Factores de diseño del molde

El diseño del molde cuenta con ciertos aspectos técnicos como:

- Contracción y dilatación del metal: se generan una serie de esfuerzos, por el calor sometido.
- Transferencia de calor: energía en movimiento entre la coquilla y el metal fundido.
- Presión metalostática del metal: esta presión actúa sobre las paredes de la coquilla.

Otros aspectos a considerar en el diseño son:

- Peso de los materiales.
- Facilidad de adquisición.
- Facilidad de elaboración.
- Fácil mantenimiento.

A continuación se definen los aspectos técnicos considerados para el diseño de la coquilla.

3.1.1. Transferencia de calor

Es la energía en tránsito debido a una diferencia de temperaturas [15, p. 21], entre el aluminio fundido y la cavidad de la coquilla.

La transferencia de calor durante el ciclo completo (desde el vaciado hasta la solidificación, enfriamiento a temperatura ambiente) es otro factor que debe considerarse en la fundición de metales. El flujo de calor en diferentes puntos del sistema es un fenómeno complejo que depende de varios valores relacionados con el metal que se está fundiendo así como parámetros del molde y del proceso [18, p. 78] (tiempo de solidificación, velocidad de vaciado).

Por ejemplo, en la fundición de secciones delgadas, las velocidades de flujo del metal deben ser lo suficientemente altas para evitar un enfriamiento con conllevará a una solidificación prematura [18].

3.1.2. Contracción del metal

Por las características de dilatación térmica, los metales en general se contraen durante la solidificación y se enfrían a temperatura ambiente. La contracción, provoca cambios dimensionales, también puede haber agrietamientos este el resultado de tres eventos consecutivos [33, p. 3]:

- La contracción del metal fundido al enfriarse antes de solidificar [33].
- La contracción del metal durante el cambio de fase de líquido a sólido (calor latente de fusión) [33].
- La contracción del metal solidificado conforme a su temperatura se reduce a la temperatura ambiente [33].

En figura 8 se muestran las etapas de la contracción.

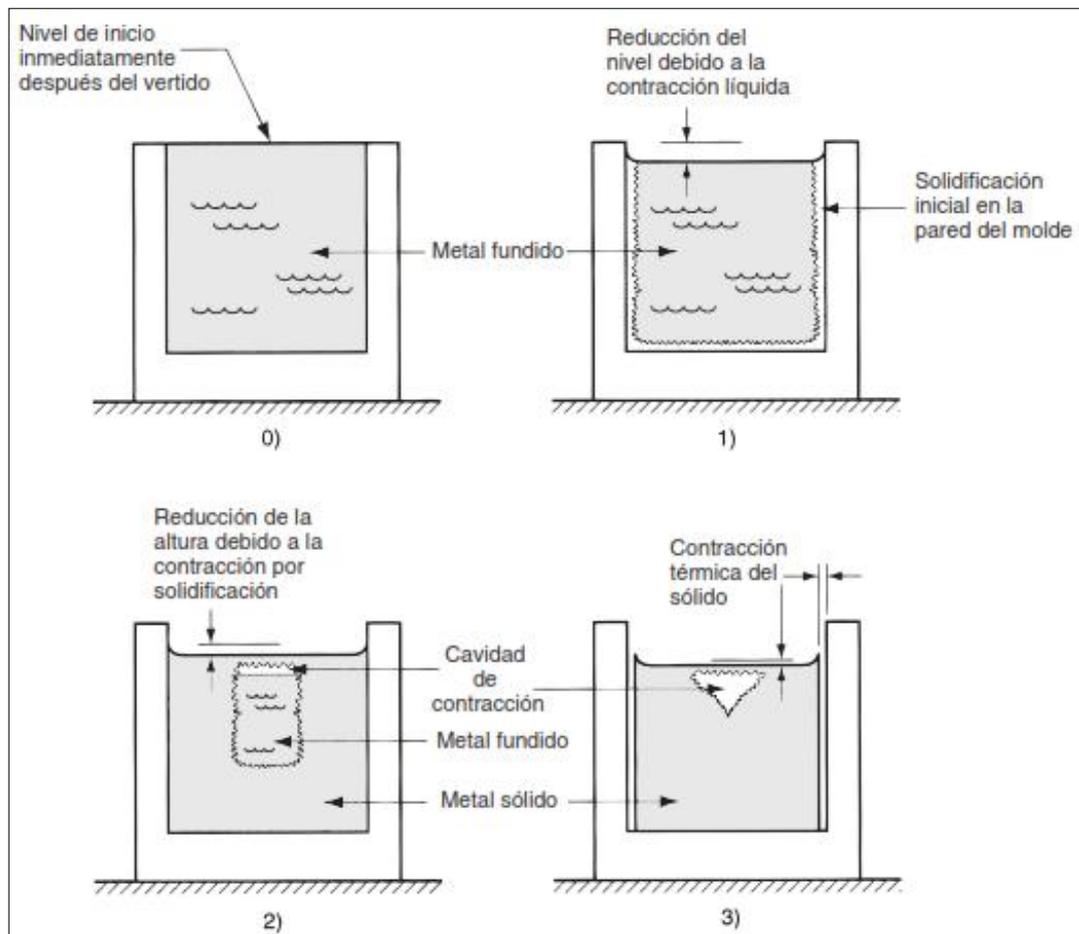


Figura 8. Contracción de un fundido cilíndrico durante la solidificación y enfriamiento: 0) nivel de inicio de metal fundido inmediatamente después del vertido, 1) reducción del nivel ocasionado por la contracción líquida durante el enfriamiento, 2) disminución de la altura y formación de una cavidad de contracción ocasionada por la contracción de la solidificación y 3) reducción adicional de la altura y diámetro debido a la contracción térmica durante el enfriamiento del metal sólido [14].

La mayor medida potencial de contracción ocurre cuando la fundición se enfría a temperatura ambiente [18].

La tabla 3.1, muestra a continuación, la contracción volumétrica de algunos metales.

Tabla 3. 1 Contracción volumétrica para distintos metales de fundición, debido a la contracción por solidificación y a la del sólido [14].

Metal	Contracción por solidificación, %	Contracción térmica del sólido, %
Aluminio	7.0	5.6
Aleación de aluminio (común)	7.0	5.0
Hierro colado gris	1.8	3.0
Hierro colado gris, alto C	0	3.0
Acero fundido al bajo C	3.0	7.2
Cobre	4.5	7.5
Bronce (Cu-Sn)	5.5	6.0

3.1.3. Presión metalostática

Presión metalostática es la presión ejercida por el metal líquido inmóvil y de su resultante, el empuje metalostático, contra las paredes del molde y contra los machos incluidos [5, p. 1].

Durante el vertido del aluminio fundido en la cavidad, ocurren diferentes fenómenos.

Cuando se vacía el metal líquido en el molde, suceden una serie de fenómenos:

- Durante la colada, el metal, muy caliente y pesado, corre por el alimentador, penetra en el molde, choca contra las paredes y avanza con movimientos arremolinados, etc. Durante esta fase, es fácil que se produzcan las erosiones [13, p. 42].
- Después de la colada, mientras el metal este líquido ejerce sobre todas las paredes del molde y sobre los cuerpos incluidos en el mismo [13, p. 43].
- Cuando el metal se ha solidificado para formar la pieza, esta gravita con su propio peso sobre la pared inferior del molde obedeciendo solo a la gravedad e inicia su contracción que dura hasta que la pieza ha alcanzado la temperatura ambiente [13, p. 43].

3.2. Diseño de la coquilla

La coquilla es el molde en el cual se depositará el metal fundido para producir la pieza deseada que en esta ocasión será un cenicero.

3.2.1. Selección del material empleado en la construcción de la coquilla

Para la selección del material se debe considerar las características que permitan trabajar en caliente a temperaturas entre 250 °C y 300 °C, adicional se considera la facilidad de encontrar el material en el mercado.

Para el proyecto se ha seleccionado el acero W 320 nombre comercial designado por Bohler y técnicamente es el acero AISI H10, un material que soporta temperaturas de hasta 900 °C.

3.2.2. Masa requerida de aluminio

Se calculará la masa requerida de aluminio (colada) requerida para el llenado del molde para esto se considera las siguientes medidas que se observa en la figura9.

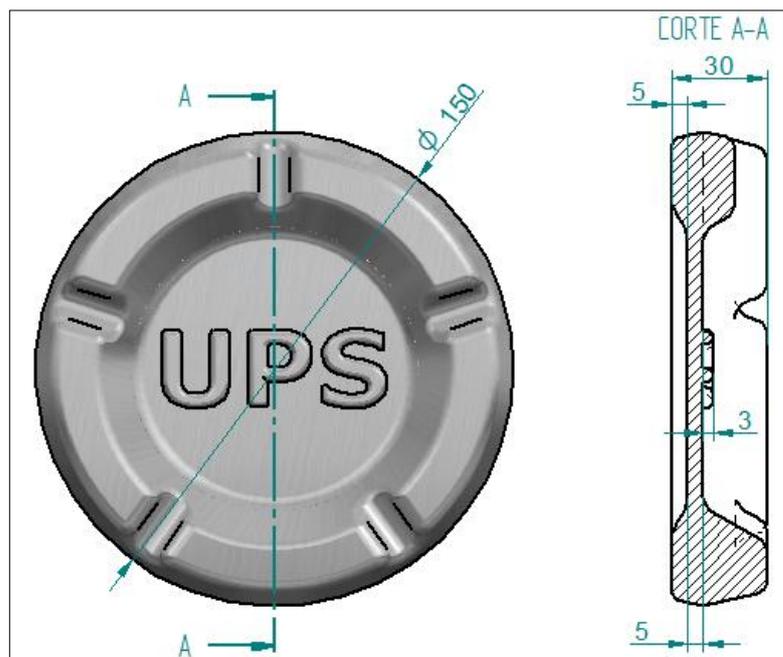


Figura 9. Dimensiones del cenicero considerado (Realizado por: Juan Jacho & Patricio Padilla)

Mediante la siguiente ecuación se determina la masa:

$$m = \rho * V \quad (1)$$

Donde:

- m : Masa de aluminio (kg)
 ρ : Densidad del aluminio (2.71 g/cm³ o 2710 kg/m³)
V : Volumen del molde (7.069*10⁵ mm³)

$$m = 1.92 \text{ kg (resultado teórico)}$$

La masa está calculada considerando las dimensiones de un cuerpo regular (cilindro), sin embargo la forma del cenicero es irregular, por esto se utiliza la ayuda de un software de diseño mecánico, cabe indicar que en el mismo software se modela el cenicero que se obtendrá posteriormente en la coquilla como producto de la fundición, este software permite asignar el material de la pieza y este a su vez calcula la masa requerida que es de 0.83 kg de aluminio. La figura 10, muestra la obtención de este valor.

$$m = 0.83 \text{ kg}$$

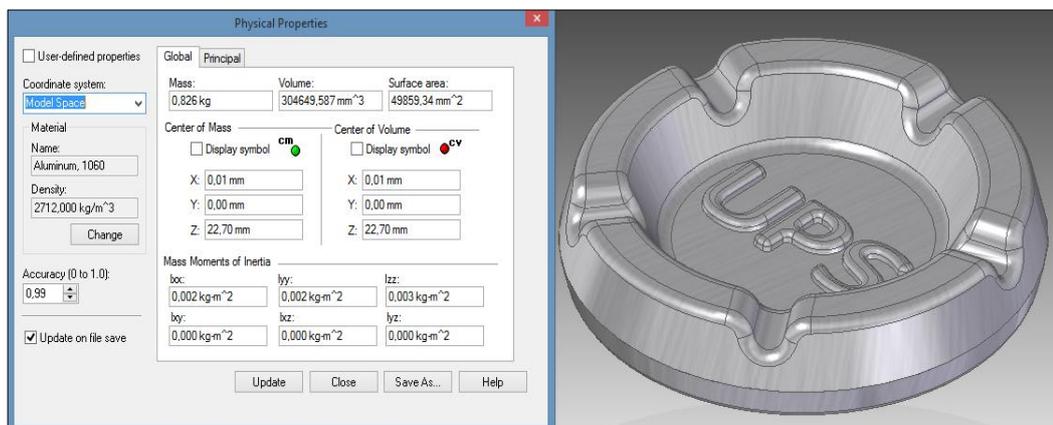


Figura 10. Obtención masa de aluminio sin alimentador en software
(Realizado por: Juan Jacho & Patricio Padilla)

En la figura 11, se muestra la obtención de la masa del cenicero considerando la masa del alimentador o mazarota, obteniéndose en este caso una masa total de la pieza fundida de 1.2 kg.

$$m = 1.2 \text{ kg}$$

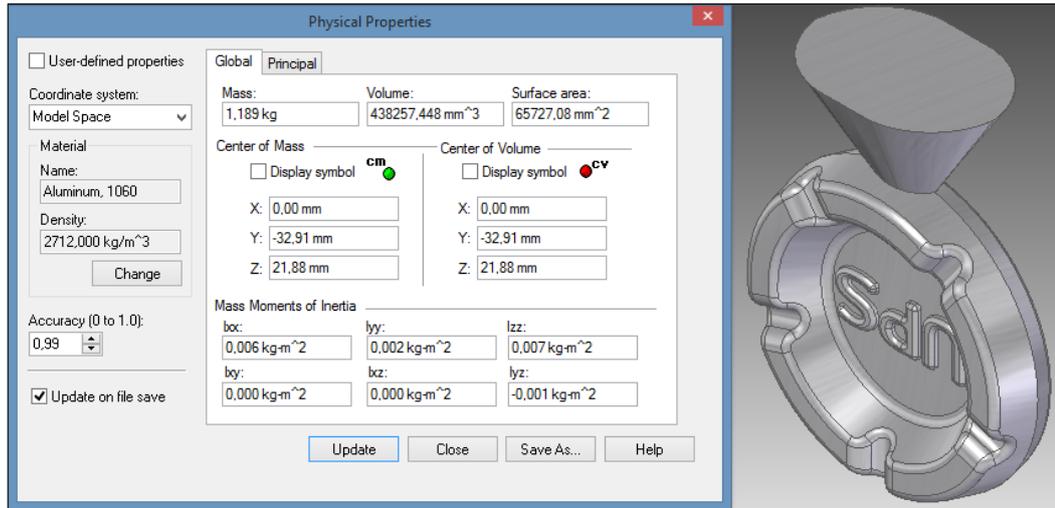


Figura 11. Masa de aluminio con alimentador en software
(Realizado por: Juan Jacho & Patricio Padilla)

3.2.3. Cálculo de calor contenido en el cenicero

La coquilla se encarga de evaporar al medio ambiente el calor que contiene el aluminio fundido. Para esto se calcula el calor que disipará.

La siguiente ecuación determina el calor contenido en el metal fundido:

$$Q = m * L + mc_p * (T_v - T_m) \quad (2)$$

Donde:

Q : calor eliminado por el molde (Ws)

M : masa de aluminio (1.2 kg)

L : calor de solidificación del aluminio (95 cal/g o 397822 Ws/kg)

C_p : calor específico del aluminio 0.26 cal/g.°C o 1089 Ws/kg)

T_v : temperatura del aluminio fundido (700 °C)

T_m : temperatura de desmoldeo (250 °C)

$$Q = 1620905.85 \text{ Ws}$$

3.2.4. Tiempo de desmoldeo

La energía que se disipará es, el calor contenido en el aluminio en un tiempo determinado, por la siguiente ecuación.

$$t_m = \left(\frac{V}{A_d}\right)^2 * \left[\frac{\rho * (c_p * (T_v - T_m) + L) * \sqrt{\pi * a}}{2 * K * (T_m - T_o)}\right]^2 \quad (3)$$

Donde:

T_m : tiempo de desmoldeo (s)

V : volumen del molde ($7.069 * 10^{-4} \text{ m}^3$)

A_d : área que contiene la masa de aluminio fundido (0.0177 m^2)

ρ : densidad del aluminio (2.710 g/cm^3)

L : calor de solidificación del aluminio (397822 W.s/kg)

c_p : calor específico del aluminio (1088.78 W.s/kg)

K : conductividad térmica de la coquilla (Bohler W320 30 W/m.K)

α : difusividad térmica de la coquilla ($k/\rho.c_p$) ($1.017 * 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$)

T_v : temperatura de vaciado del metal (700 °C)

T_m : temperatura de desmoldeo (250 °C)

T_o : temperatura de precalentamiento del molde de la coquilla (200 °C)

$$t_m = 3.44 \text{ s}$$

3.2.5. Espesor de molde

Consideraciones:

- Transferencia de calor estable

- La convección es normal
- Se desprecia la radiación debido a que no es un cuerpo negro
- Propiedades constantes: densidad, calor específico, difusividad térmica
- Pérdida de calor se considera a partir del llenado de la cavidad con el metal fundido
- No se genera calor interno
- El coeficiente de convección natural es de $25 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$, considerando que la temperatura ambiente del laboratorio de mecánica es de $20 \text{ }^\circ\text{C}$

Calor disipado durante el tiempo de desmoldeo:

$$q = \frac{Q}{t_m} \quad (4)$$

Donde:

- q : calor disipado en el tiempo de desmoldeo (W)
 Q : calor disipado por la coquilla (1620905.85 W.s)
 t_m : tiempo de desmoldeo (3.44 s)

$$q = 471193.56 \text{ W}$$

Para resolver el espesor de la coquilla se realizara mediante el concepto de resistencia térmica donde se determina el espesor por medio de la resistencia térmica de la pared en contra de la conducción de calor o simplemente la resistencia a la conducción de la pared [34]. En la figura 12 se observa el esquema aplicando concepto de resistencia térmica.

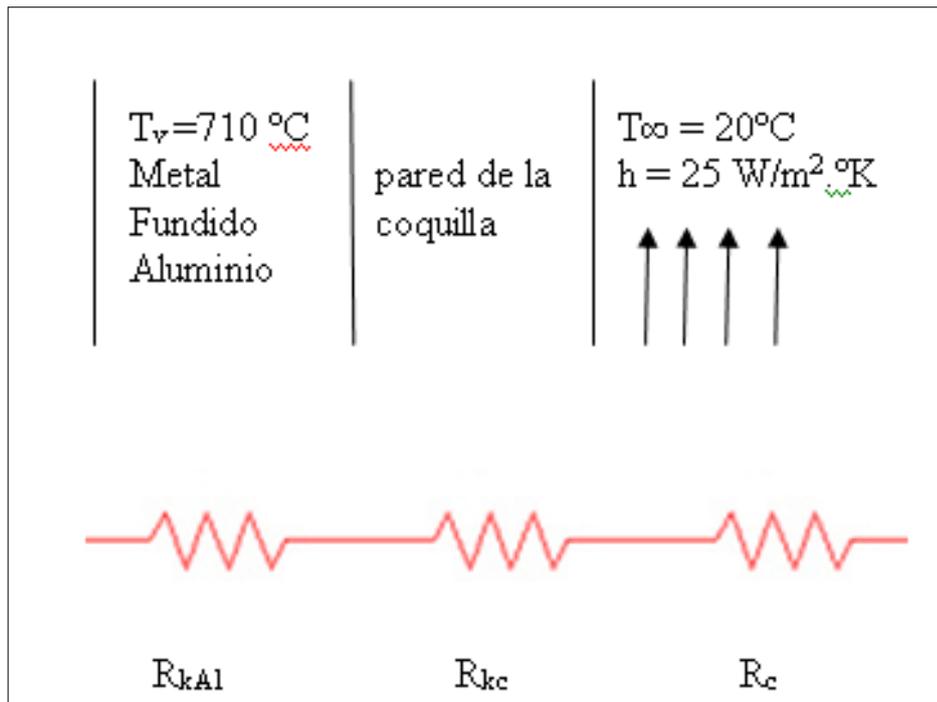


Figura 12. Circuito equivalente de la coquilla
(Realizado por: Juan Jacho & Patricio Padilla)

La resistencia térmica se define:

$$R_k = \frac{L}{kA} \quad (5)$$

Donde:

L : espesor de la coquilla (m)

k : conductividad térmica acero AISI H10 (W/m.K)

A : área de transferencia de calor (m^2)

La resistencia térmica por convección está dada por la siguiente expresión:

$$R_c = \frac{1}{hA} \quad (6)$$

Donde:

A : superficie de convección (m^2)

h : constante de transferencia de calor por convección.

La Superficie de contacto del cenicero para la transferencia de calor es por conducción que a su vez es la misma para la convección.

Del circuito equivalente:

$$q = \frac{T_v - T_\infty}{\sum R_t} \quad (7)$$

Donde:

T_v : temperatura de vertido de aluminio (710 °C)

T_∞ : temperatura ambiente (20 °C)

$\sum R_t$: resistencia térmica total

Las resistencias térmicas son similares a las resistencias eléctricas por esta razón se toma como un circuito en serie por lo tanto:

$$\sum R_t = R_{kAl} + R_{kc} + R_c \quad (8)$$

Donde:

R_{kAl} : resistencia térmica de conducción del aluminio

R_{kc} : resistencia térmica de conducción de la coquilla

R_c : resistencia térmica por convección

Donde:

$$\sum R_t = \frac{1}{A} \left(\frac{L_{Al}}{k} + \frac{L_c}{k} + \frac{1}{h} \right) \quad (9)$$

L_{Al} : espesor de la pared de aluminio (40 mm)

K_{Al} : conductividad térmica de aluminio (237 w/m.K)

L_c : grosor de la pared del molde (m)

- K_c : conductividad térmica de acero AISI H10 (30 W/m.K)
 A : área de contacto para la transferencia de calor (m^2)

Reemplazando en las ecuaciones (7) y (9) se concluye que el grosor de la coquilla debe ser:

$$L_c = 0.021 \text{ m} = 21 \text{ mm}$$

Conclusión

El espesor de la coquilla es de 3 a 4 veces mayor al espesor medio de la pieza fundida [17], por lo cual el elemento diseñado se encuentra dentro del margen señalado.

3.2.6. Cálculo de la presión metalostática

Para el cálculo de la presión metalostática se considerara el principio de pascal el cual manifiesta: La presión ejercida sobre un fluido poco compresible y en equilibrio dentro de un recipiente de paredes indeformables se transmite con igual intensidad en todas las direcciones y en todos los puntos del fluido [35].

$$p = \frac{m * g * h}{V} \quad (10)$$

Donde:

- P : presión metalostatica (Pa)
 M : masa de aluminio (1.20 kg)
 g : aceleración gravedad (9.8 m/s^2)
 h : espesor del cenicero (0.004 m)
 V : volumen del molde ($7.069 * 10^{-4} \text{ m}^3$)

$$p = 1060,97 \text{ N/m}^2$$

Conclusión.

La presión metalostática, es la fuerza generada por la colada de aluminio hacia las paredes de la coquilla, el molde está diseñado con acero AISI H10 que a una temperatura de 300 °C puede soportar presiones de $1.4 \times 10^9 \text{ N/m}^2$, ver anexo 1, por tal motivo la presión metalostática es mínima y no afectara el correcto funcionamiento de la coquilla.

3.2.7. Diseño por contracción del aluminio

La mayor medida potencial de contracción ocurre cuando la fundición se enfría a la temperatura ambiente [18].

Cuando el metal fundido se vierte en la coquilla, se experimenta una contracción, la misma que se limita por la coquilla que actúa como una restricción para el metal fundido, el mismo que genera un esfuerzo que es igual al de dilatación térmica del material fundido pero con signo contrario [15, p. 51], esto se observa en la figura 13.

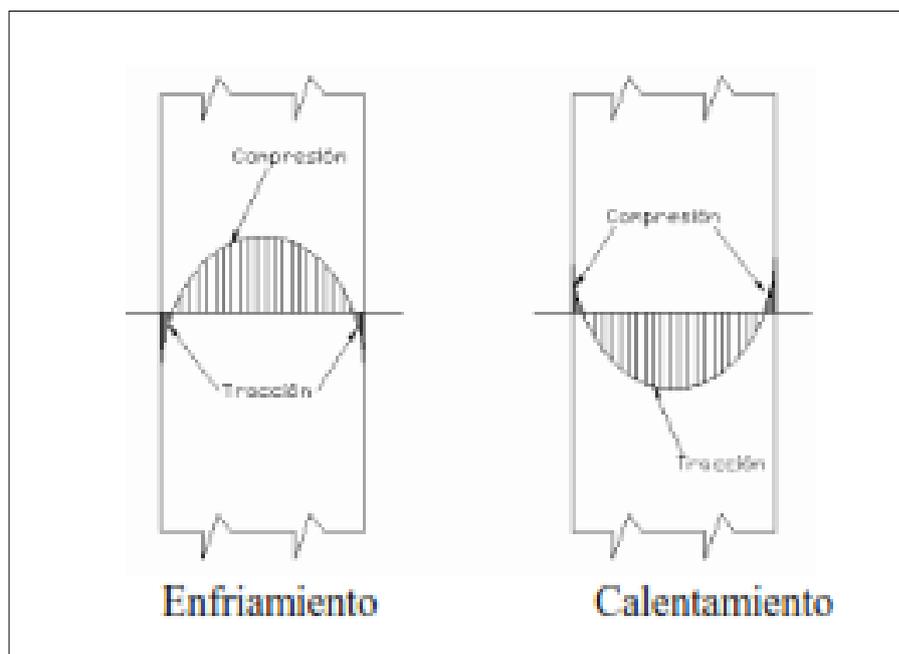


Figura 13. Esfuerzo térmicos durante el calentamiento y enfriamiento en una plancha infinita. [36]

Se define mediante la siguiente ecuación.

$$\sigma = \alpha * E * (T_v - T_m) \quad (11)$$

Donde:

- σ : esfuerzo de compresión generado por la contracción (N/m²).
- α : coeficiente de dilatación térmica del aluminio (23.9 x 10⁻⁶ 1/ °C).
- E : módulo de elasticidad del aluminio (71x10⁹)
- T_v : temperatura de vertido de aluminio (710 °C)
- T_m : temperatura de desmoldeo (300 °C)

$$\sigma = 6.96 \times 10^8 \text{ N/m}^2$$

La resistencia a la compresión del acero W320 (AISI H 10) es de 13.7x10⁻⁶ m/(m.K) at. Ver Anexo 2.

Conclusión.

El esfuerzo a la compresión que genera el aluminio es bajo al esfuerzo máximo que puede tolerar el acero AISI H10, por tal motivo con la utilización de este material, el molde no fallará por compresión.

3.2.8. Cálculo de la contracción durante la solidificación

Considerando las dimensiones de la coquilla que son 150 mm de diámetro por 30 mm de espesor, se considera lo antes mencionado en la tabla 3.1 el cual identifica la contracción volumétrica por solidificación, es del 7 % para el aluminio, el volumen de aluminio es de 304.65 cm³.

Considerando la contracción por solidificación el volumen final que se obtiene sería de 283.32 cm³.

3.3. Colado

Para el colado se debe considerar:

- Diseño de la sección alimentador
- Tiempo de colado
- Diseñar canal de alimentación

3.3.1. Diseño del bebedero

El alimentador es una cavidad por donde ingresa el metal fundido, en esta ocasión se colará aluminio.

La pieza fundida a obtener en este proyecto es un cenicero de aluminio.

Para los cálculos de las dimensiones del alimentador se tomará en cuenta mediante el procedimiento de Ozann-Dittet, el cual dice que la sección total del alimentador se halla por la siguiente ecuación [15].

$$A_b = \frac{m}{\rho * t * u * \sqrt{2 * g * H_{ca}}} \quad (12)$$

Donde:

- m : masa de aluminio (1.92 kg)
- ρ : densidad del aluminio (2.71 g/cm³)
- t : tiempo de colado (s)
- u : constante de resistencia (0.88)
- g : gravedad (9.8 m/s²)
- H_{ca} : grosor de la coquilla es de 21 mm

3.3.2. Tiempo de colado

Se determina por la siguiente ecuación. [37]

$$t = s * \sqrt[3]{m * L_{al}} \quad (13)$$

Donde:

m : masa de metal fundido de aluminio (1.62 kg)

S : coeficiente considerando el grosor de la pieza fundida (1.7)

L_{Al} : grosor de la pieza fundida (0.040 m)

$$t = 0.72 \text{ s}$$

3.3.3. Cálculo del radio de la sección del bebedero

De las ecuaciones 13 y 14 se obtiene el área de la sección del alimentador.

$$A_b = 1.74 * 10^{-3} \text{ m}^2$$

La forma de la sección del alimentador es cilíndrica por lo tanto se calcula el radio requerido.

$$A_b = \pi * r^2 \quad (14)$$

De donde se obtiene el siguiente resultado:

$$r_a = 0.023 \text{ m} = 23 \text{ mm}$$

Conclusión

Se puede considerar como radio mínimo de 23 mm, cabe mencionar que la forma del alimentador no será redonda, la forma de la entrada es cilíndrica considerando que el radio mayor es menor al antes calculado.

3.3.4. Diseño del bebedero

El bebedero es de forma cónica cuyo sifón está dado por la siguiente ecuación. [37]

$$r_c = \frac{r_a}{2} \quad (15)$$

Donde:

r_c : radio del canal y sifón

r_a : radio de la sección del alimentador

$$r_c = 0.0115 \text{ m} = 11.5 \text{ mm}$$

3.3.5. Diseño de la mazarota

Es como se conoce en fundición y metalurgia a los depósitos de metal fundido que se colocan en los sitios del molde que son críticos, que son zonas que tienden a generar defectos de fundición como rechupes en piezas de paredes gruesas. [10].

Según el texto de Goyos [38]

$$\frac{V_M}{V_c} = 0.6 \quad (16)$$

Donde:

V_M : volumen de la mazarota ($3.05 \times 10^{-4} \text{ m}^3$)

V_c : volumen de la coquilla (m^3)

$$V_M = 1.83 \times 10^{-4} \text{ m}^3$$

La forma de la mazarota es un cono truncado entonces:

$$V_M = \frac{h_M * \pi}{3} (r_a^2 + r_c^2 + r_a r_c)$$

Donde:

V_M : volumen de la mazarota ($1.83 \times 10^{-4} \text{ m}^3$)

h_M : altura de la mazarota (m)

r_a : radio del alimentador (0.023 m)

r_c : radio del canal o sifón (0.0115 m)

$$h_M = 0.188 \text{ m} = 188 \text{ mm}$$

3.3.6. Velocidad de vertido

Es la tasa volumétrica a la que se vierte el aluminio fundido a la coquilla, si la tasa es demasiado baja, el metal se enfriará y solidificará antes de llenar la cavidad. Si la tasa de vertido es excesiva, la turbulencia se vuelve un problema [36, p. 79]. Mediante el teorema de Bernoulli se determinará la velocidad de vertido, para el cual no se considera las pérdidas por fricción, la presión sometida es la atmosférica por lo tanto es igual se eliminan, de la misma obtenemos la siguiente ecuación [36]:

$$v_v = \sqrt{2gh_M} \quad (17)$$

Donde:

V_v : velocidad de vertido (m/s)

G : aceleración gravedad (9.8 m/s^2)

h_M : altura mazarota (m)

$$V_v = 1.9 \text{ m/s}$$

3.3.7. Gasto volumétrico

La ley de la continuidad establece que la tasa de flujo volumétrico permanece constante a través del líquido, está dada por la siguiente ecuación [36]

$$Q = V_v A_c \quad (18)$$

Donde:

Q : flujo volumétrico o gasto (m^3/s)

v_v : velocidad de vertido (1.9 m/s)

Ac : área del canal o sifón (0.035 m^2)

$$Q = 0.21 \text{ m}^3/\text{s}$$

3.3.8. Tiempo de llenado del molde

Es posible estimar el tiempo de llenado mediante la siguiente ecuación. [36]

$$T_{LL} = \frac{V}{Q} \quad (19)$$

Donde:

V : volumen del cenicero ($4.34 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3$)

Q : flujo volumétrico ($0.21 \text{ m}^3/\text{s}$)

$$T_{LL} = 2 \cdot 10^{-3} \text{ s}$$

3.4. Diseño del soporte del molde

El soporte para el molde tiene el objeto de sujetar la coquilla, el mismo también nos permitirá abrir y cerrar las cavidades de la coquilla.

En el proyecto se considera un factor de seguridad $n = 2$ [23].

3.4.1. Diseño del bastidor

El bastidor permite soportar los subconjuntos fijo, posterior y móvil, este último va a desplazar la mitad de la coquilla, la misma que estará sujeta a la placa central del subconjunto en cuestión, haciendo que el molde se cierre para el colado del material

fundido y luego de la solidificación permitirá la apertura de la coquilla para la obtención del cenicero.

El material seleccionado para la construcción del bastidor es acero ASTM A36 ($S_y = 36$ kpsi o 248×10^6 N/m²) ($S_y =$ punto de fluencia) [39]. Cuyas condiciones son óptimas, para los esfuerzos que estarán sometidos.

Es acero de fácil adquisición y de bajo costo en el mercado las características se observan en el Anexo 3 (catálogo DIPAC).

3.4.2. Diseño de los soportes del bastidor

El siguiente gráfico se muestra las dimensiones del soporte que soportará la mitad de la coquilla.

El soporte A, se considerara el peso de la mitad del molde, también la fuerza ejercida por el operario que ejecutará el cierre y apertura de la coquilla, el bastidor está sometido a esfuerzos a flexión provocado por la mitad de la coquilla y esfuerzos a compresión por el paso de las fuerzas al elemento.

Los datos geométricos para el cálculo siguiente se observa en la figura 14, el espesor de la placa es de 28 mm, la mitad de la coquilla estará ubicada en el extremo del soporte.

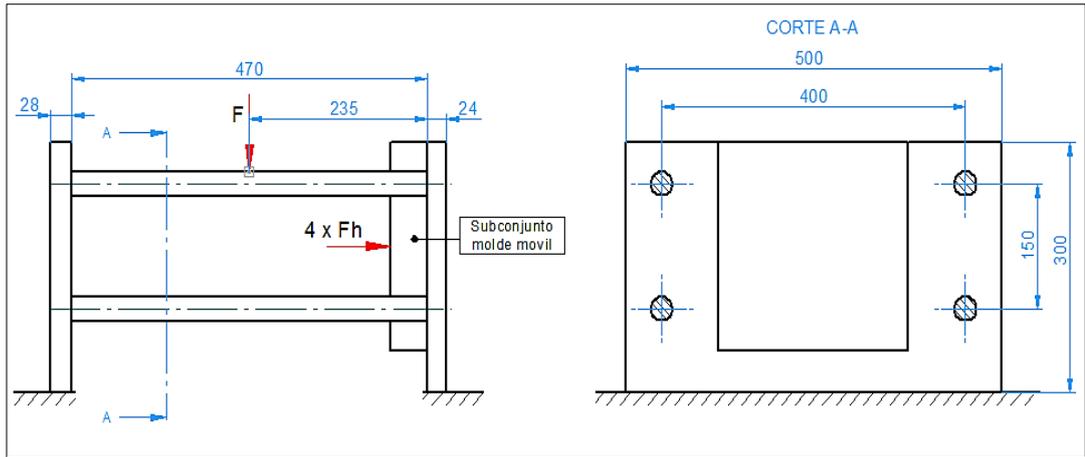


Figura 14. Diagrama de fuerzas que actúan en uno de los soportes del bastidor donde F, fuerza provocada por la coquilla, Fh fuerza provocada por el operario para abrir y cerrar las coquillas.

(Realizado por: Juan Jacho & Patricio Padilla)

Para el cálculo de los soportes se considera el soporte que soportará mayor esfuerzo como la mitad de la coquilla y también la fuerza ejercida por el operario, por ende se considera como soporte A, y va a producir flexión en ese soporte. Como se observa en la figura 15.

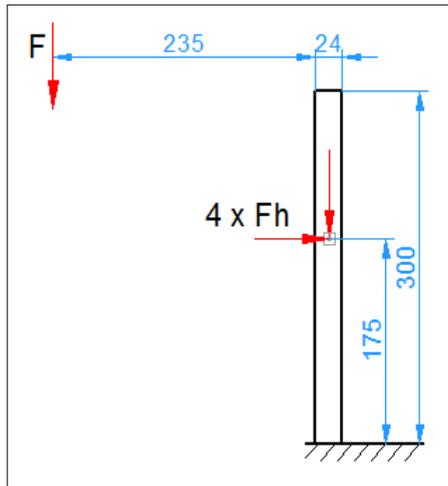


Figura 15. Fuerzas actuadas en el soporte A (Realizado por: Juan Jacho & Patricio Padilla)

La figura 16 muestra los diagramas cortantes y de momentos generados por las fuerzas.

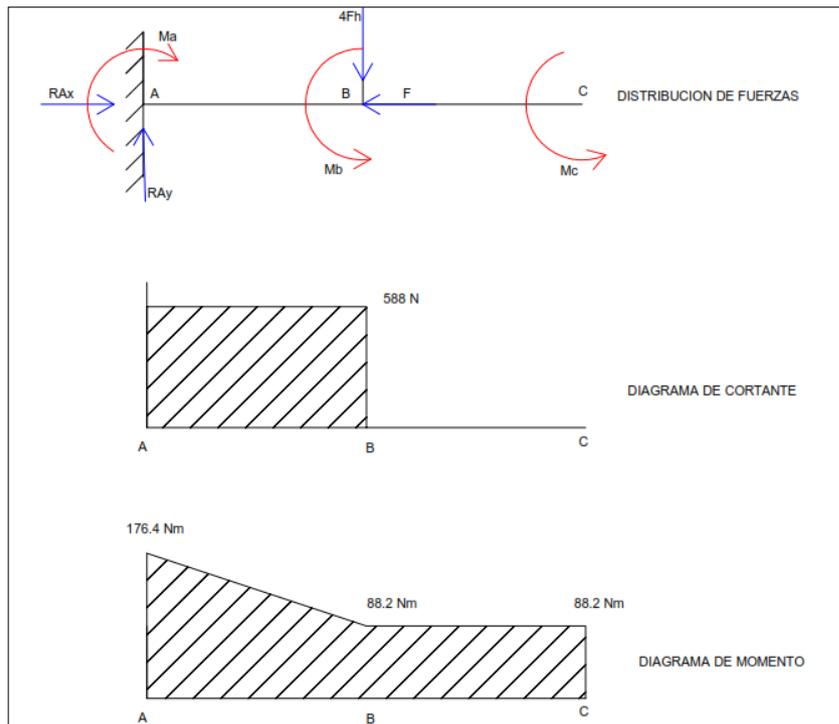


Figura 16. Esquema de distribución de cargas, cortante, momento, para el soporte A del bastidor. RAx reacción en el punto A eje x, RAy reacción en el punto A eje y, F es la fuerza que ejerce la mitad de la coquilla, Fh la fuerza necesaria que ejerce el operario para mover la coquilla, Ma, Mb, Mc son los momentos en cada uno de los puntos. (Realizado por: Juan Jacho & Patricio Padilla)

Las reacciones den el eje X se obtiene mediante la sumatoria de todas las fuerzas $F = 617 \text{ N}$, obtenida del peso de mitad (63 kg) de la coquilla por la gravedad.

$$R_{Ax} = 617 \text{ N}$$

RAx reacción en el punto A eje x

La reacción en el eje Y es obtenida por la fuerza que ejerce Fh que es la fuerza del hombre necesaria para mover la mitad de la coquilla $F_h = 147 \text{ N}$.

$$R_{Ay} = 588 \text{ N}$$

RAy reacción en el punto A eje y

Se calcula el esfuerzo a flexión y compresión que soportara la viga:

$$\sigma_f = \frac{M * C}{I} \quad (20)$$

Donde:

- σ_f : esfuerzo de flexión
M : momento (176.4 N.m)
I : momento de inercia
C : distancia a las fibras externas (0.012 m)

Momento de inercia está dado por:

$$I = \frac{b * h^3}{3} \quad (21)$$

Donde:

- b : base de la sección (0.3 m)
h : altura de la sección que soporta la flexión (0.012 m)

$$I = 1.38 \times 10^{-6} \text{ m}^4$$

$$\sigma_f = 1.53 \times 10^6 \text{ N/m}^2$$

$$\sigma_{\max} = 1.53 \times 10^6 \text{ N/m}^2$$

Se calcula el esfuerzo a compresión:

$$\sigma_c = - \frac{3 * F}{2 * A} \quad (22)$$

Donde:

- σ_c : esfuerzo de compresión
F : fuerza provocada por el peso (617 N)
A : área para la compresión ($7.2 \times 10^{-3} \text{ m}^2$)

$$\sigma_c = 1.29 \times 10^5 \text{ N/m}^2$$

$$\sigma_{\min} = 1.29 \times 10^5 \text{ N/m}^2$$

Para identificar si este elemento fallará emplearemos el método de Goodman para fatiga bajo esfuerzo fluctuante, las siguientes ecuaciones son tomadas del texto de Mott [23].

$$\frac{\sigma_a}{Se} + \frac{\sigma_m}{Sut} = \frac{1}{n} \quad (23)$$

Donde:

- σ_a : esfuerzo alterno
- σ_m : esfuerzo medio
- Se : esfuerzo a la fatiga
- Sut : esfuerzo a la última tensión (400×10^6 Pa)
- n : factor de seguridad

$$\sigma_m = \frac{\sigma_{max} + \sigma_{min}}{2} \quad (24)$$

Donde:

- σ_{max} : esfuerzo máximo (1.53×10^6 N/m²)
- σ_{min} : esfuerzo mínimo (1.29×10^5 N/m²)

$$\sigma_m = 830 \times 10^3 \text{ N/m}^2$$

$$\sigma_a = \frac{\sigma_{max} - \sigma_{min}}{2} \quad (25)$$

$$\sigma_a = 700 \times 10^3 \text{ N/m}^2$$

La resistencia a la fatiga está dado por:

$$Se = Ka * Kb * Kc * Kd * Ke * Kl * Se' \quad (26)$$

Donde:

- Ka : factor de acabado superficial
- Kb : factor de tamaño
- Kc : factor de carga
- Kd : factor de temperatura
- Ke : factor de diversos efectos

- Kl : factor de confiabilidad
 Se : resistencia a la fatiga de la probeta

Factor de acabado superficial

$$K_a = a * S_{ut}^b \quad (27)$$

- A : factor rectificado (1.58 MPa) [23]
 B : exponente (-0.085) [23]

$$K_a = 0.94$$

Factor de tamaño

Se utilizara el diámetro equivalente (d_e) porque es una sección rectangular

$$K_b = 1.51 d_e^{-0.157} \quad (28)$$

$$d_e = 0.808 (hb)^{0.5} \quad (29)$$

Donde:

- d_e : diámetro equivalente (m)
 h : altura (0.3 m)
 b : base (0.028 m)

$$d_e = 0.074 \text{ m}$$

$$K_b = 2.27$$

Factor de carga

Corresponde al tipo de carga aplicarse, para este caso trabaja a flexión.

$$K_c = 1$$

Factor de temperatura

Existe transferencia de calor entre la coquilla y los elementos mecánicos se estima un máximo de temperatura de transferencia de 100°C.

$$K_d = 1.025$$

Factor diverso

Para elementos sin muescas [23]:

$$K_e = 1$$

Factor de confiabilidad

$$K_f = 0.52$$

El límite resistencia a la fatiga en una probeta se determina:

$$S_e' = 0.5S_{ut} \quad (30)$$

$$S_e' = 200 \text{ MPa}$$

Entonces:

$$S_e = 227.46 \text{ MPa}$$

Los últimos valores se reemplazaran en la ecuación (23) del esfuerzo a la fatiga, de la cual despejaremos n:

$$n = \frac{1}{\frac{\sigma_a}{S_e} + \frac{\sigma_m}{S_{ut}}} \quad (31)$$

Entonces:

$$n = 7.42$$

Resistencia a la fatiga para vida infinita

$$S_f = aN^b \quad (32)$$

Donde:

Sf : resistencia a la fatiga

a y b : constantes

N : número de ciclos de esfuerzo (10^6)

$$a = \frac{(0.9S_{ut})^2}{S_e} \quad (33)$$

$$b = -\frac{1}{3} \log \frac{0.9 S_{ut}}{S_e} \quad (34)$$

$$b = 0.066$$

$$S_f = 233 \text{ MPa}$$

Entonces $S_f \leq S_{ut}$, no falla por flexión $S_f = 0.58S_{ut}$, obsérvese en la figura 17.

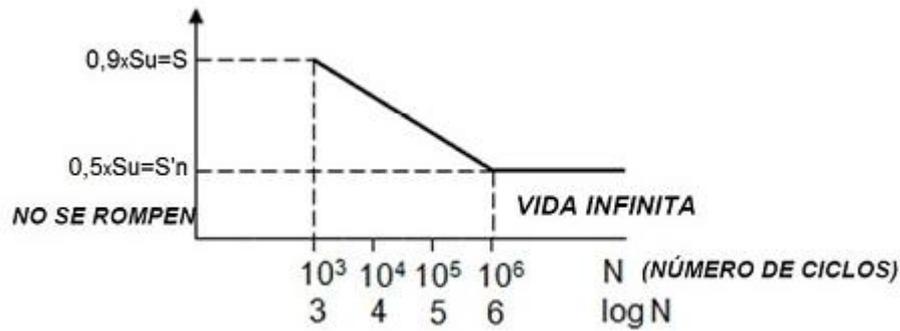


Diagrama S-N para el acero

Figura 17. Diagrama S-N para el acero
(Realizado por: Juan Jacho & Patricio Padilla)

Conclusión

Los elementos no fallarán a fatiga porque el valor de factor de seguridad que se obtiene con los esfuerzos a los que se encuentra sometido el equipo es de $n = 13$, por lo tanto el equipo está sobre dimensionada, para el trabajo al cual se la va a someter.

Según el texto de Juvinall, manifiesta si la siguiente expresión es menor a 1 los elementos nos fallarán.

$$\frac{\sigma_a}{S_e} + \frac{\sigma_m}{S_{ut}} \leq 1$$

$$5.97 \times 10^{-3} \leq 1$$

3.4.3. Diseño de las guías de la coquilla

Las guías de las coquillas son ejes empotrados en cada extremo, están fijos y se encargan de desplazar la mitad de la coquilla a lo largo de las guías, para esto se empleará 4 guías, las mismas que sujetarán las mitades de las coquillas y se encargarán de centrar las mismas.

Las guías estarán diseñadas de material acero bonificado AISI 4340, cuyo $S_y = 900$ N/mm², ver Anexo 4

Las guías estarán sometidas a esfuerzo cortante por la carga que ejerce la mitad del molde.

3.4.4. Cálculo estático de las guías

Para sujetar la coquilla se emplea 4 guías que soportaran 657 N, sin embargo el análisis estático se realizará para una guía el peso se divide entre las 4 guías, por lo que esta soportará un peso de 164.25 N, esta fuerza provocará flexión.

$$F = 164.25 \text{ N}$$

Mediante el software se grafican los diagramas cortantes y momentos del eje, a continuación en la figura 18 se muestran los siguientes resultados:

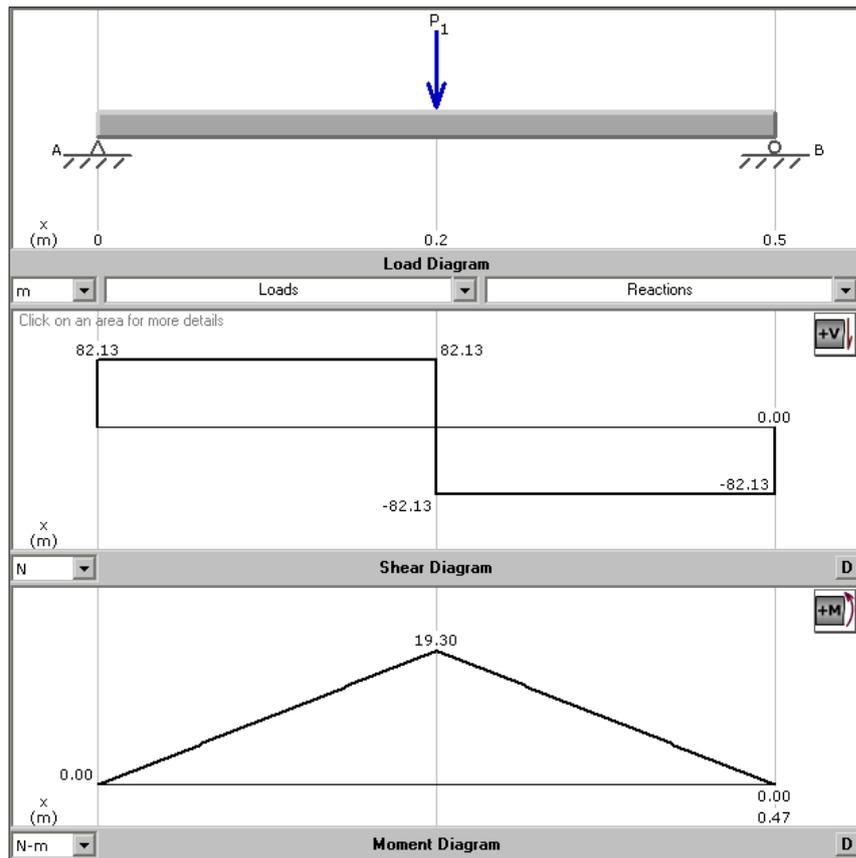


Figura 18. Diagrama de fuerzas ejercida por una parte de la coquilla, diagrama cortante, diagrama de momentos. (Realizado por: Juan Jacho & Patricio Padilla)

Los valores proporcionados por el software son:

$$F_{ay} = 82.13 \text{ N}$$

$$F_{by} = 82.13 \text{ N}$$

El momento máximo es:

$$M_{\max} = 19.30 \text{ N.m}$$

Las reacciones en el eje x se determinan de la siguiente manera:

$$R_{ax} = \frac{f_r \cdot l_2}{l_1 + l_2}; R_{bx} = \frac{f_r \cdot l_1}{l_1 + l_2} \quad (35)$$

Donde:

Rax : reacción en el punto A en eje de las x.

Fr : fuerza de fricción provocada por el deslizamiento del bastidor

I₁ : longitud donde se encuentra la fuerza

La fuerza de fracción se define por:

$$f_r = u * N \quad (36)$$

Donde:

N : normal del bastidor (164.25 N)

u : coeficiente de rozamiento (0.16) [40]

$$fr = 26.28 \text{ N}$$

Se considera al punto crítico en la mitad entonces:

$$Rax = Rbx = 13.14 \text{ N}$$

Los esfuerzos a los que se encuentra sometidos son flexión y tracción:

$$\sigma_f = \frac{M * C}{I} \quad (37)$$

$$\sigma_T = \frac{fr}{A} \quad (38)$$

Donde:

σ_f : esfuerzo de flexión

σ_T : esfuerzo de tracción

M : momento máximo (19.30 N.m)

I : momento de inercia

C : distancia a las fibras de eje macizo (d/2)

Fr : fuerza de fricción (26.28 N)

A : área de eje macizo

Momento de inercia:

$$I = \frac{\pi D^4}{64} \quad (39)$$

Donde:

D : diámetro eje macizo (25 mm o 0.025 m)

$$I = 1.92 \times 10^{-8} \text{ m}^4$$

Los esfuerzos máximos y mínimos corresponden a las fibras sometidas a flexión y tracción respectivamente: [39]

$$\sigma_{max/min} = \sigma_f \pm \sigma_\tau \quad (40)$$

$$\sigma_{max/min} = \frac{M * C}{I} \pm \frac{fr}{A} \quad (41)$$

Al aplicar la teoría de von Mises se tiene que:

$$\sigma_{max} = \sigma_1 = \frac{M * C}{I} + \frac{fr}{A}; \sigma_2 = 0 \quad (42)$$

Se tomará en esfuerzo máximo para el diseño del bastidor, entonces:

$$\sigma' = \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2 - \sigma_1 \sigma_2} \quad (43)$$

La teoría de von Mises Hencky se determina como:

$$\frac{S_y}{n} = \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2 - \sigma_1 \sigma_2} \quad (44)$$

Donde:

n : factor de seguridad (n = 2)

S_y : esfuerzo de fluencia acero AISI 4340 = $900 \text{ N/mm}^2 = 9 \times 10^8 \text{ N/m}^2$,

Ver anexo 4.

$$D = 0.0135 \text{ m} = 13.5 \text{ mm}$$

Conclusión

El diámetro mínimo según los cálculos es de 13.5 mm, sometido a esfuerzo torsión y flexión, sin embargo se utilizará un eje de diámetro 25 mm, por lo tanto el elemento no tenderá a fallar.

3.4.5. Diseño de pernos (unión placa y coquilla)

La placa porta coquilla será construida en acero SAE A36, que constará de 4 pernos grado SAE 8 (ver Anexo 5), la placa soportará un peso de 657 N, el mismo que será soportado por 4 pernos por lo tanto el peso se divide y cada perno soportará 164.25

En la figura 19 se muestra la placa con los pernos y en la figura 20 se muestra la ubicación de los mismos.

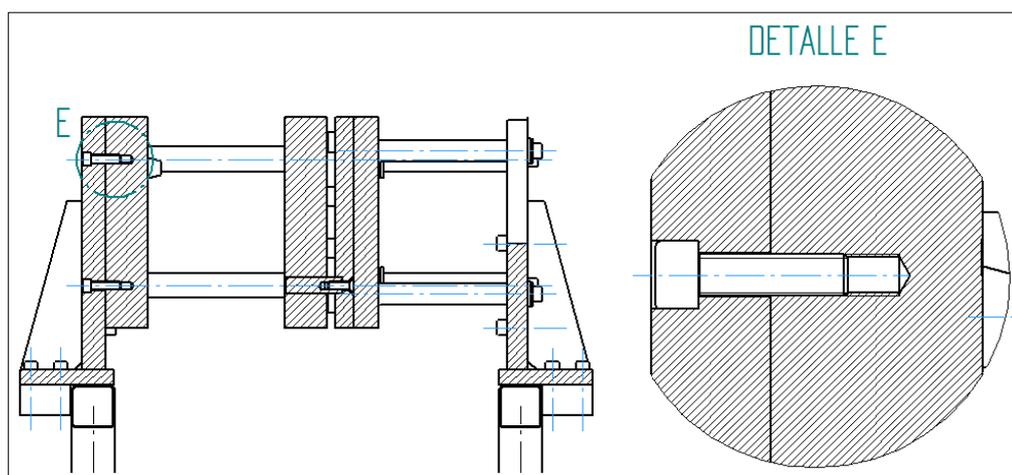


Figura 19. Pernos de sujeción de las coquilla (Realizado por: Juan Jacho & Patricio Padilla)

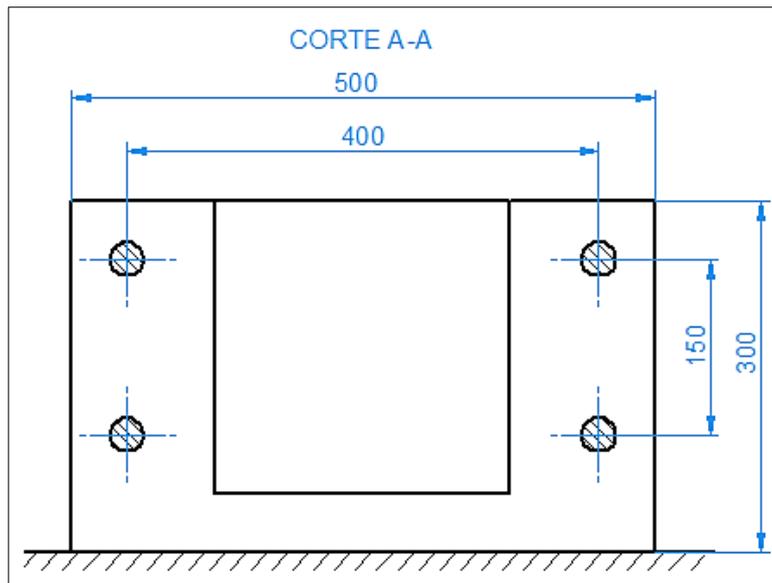


Figura 20. Placa con los pernos, dimensiones de la placa
(Realizado por: Juan Jacho & Patricio Padilla)

Los datos consultados en pernos grado SAE 8.

Resistencia mínima a la tensión 150 kpsi o $1.03 \times 10^9 \text{ N/m}^2$

Resistencia mínima a la fluencia 130 kpsi o $8.96 \times 10^8 \text{ N/m}^2$

Anteriormente se calculó el esfuerzo a la fluencia que genera el peso la mitad de la coquilla es:

$$\sigma_f = 1.53 \times 10^6 \text{ N/m}^2$$

El esfuerzo máximo que genera esta carga es

$$\sigma_{\max} = 1.66 \times 10^6 \text{ N/m}^2$$

Conclusión

Los valores calculados en el diseño del soporte del bastidor son los mismos valores a los cuales estarán sometidos los pernos, de esta manera los esfuerzos que podrá soportar el perno son 130 kpsi o $8.96 \times 10^8 \text{ N/m}^2$, es mayor al calculado que es de $\sigma_{\max} = 1.66 \times 10^6 \text{ N/m}^2$, por ende los pernos no fallarán.

3.5. Soldadura del bastidor

Las partes a soldarse son la base de bastidor y las placas que soportarán la coquilla, las mismas están construidas en acero ASTM A-36 cuyo $S_y = 36 \text{ kpsi}$ o $248 \times 10^6 \text{ N/m}^2$

El tipo de soldadura a emplearse es por cordón de electrodo revestido, el electrodo que se empleará es AWS E6011 ver anexo 7.

El S_y del AWS E6011 es de 424 MPa

Conclusión

El S_y del electrodo AWS E6011 es de 424 MPa, el cual es mayor al acero ASTM A-36 que es de 248 MPa, por lo tanto, la soldadura no fallará porque el S_y del electrodo es 1.58 veces mayor al S_y del acero.

3.6. Cálculo del mecanismo de apertura y cierre de la coquilla

El mecanismo empleado es dispositivo de sujeción rápida, la misma que está diseñado en Acero A36, este mecanismo permite abrir y cerrar la coquilla.

En la figura 21 se observa el mecanismo a diseñar.

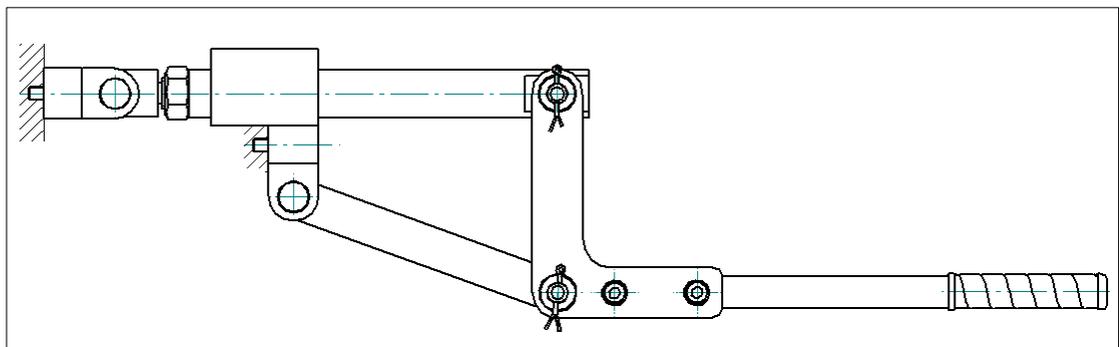


Figura 21. Mecanismo de apertura y cierre de coquilla, dispositivo de sujeción rápida
(Realizado por: Juan Jacho & Patricio Padilla)

Mediante la siguiente ecuación se calcula la fuerza que este mecanismo puede llegar a generar, mediante la manipulación del operario, las ecuaciones fueron obtenidas de un fabricante del dispositivo ver anexo 6.

$$F_{SP} = \frac{F_1}{2} \left[\frac{1}{\tan(\alpha + \beta)} - \tan\delta \right] \quad (45)$$

Donde:

- F_{SP} : fuerza obtenida por el mecanismo (N)
 F_1 : fuerza en el punto articulado (N)
 α : ángulo de inclinación de la palanca (60°)
 β : ángulo de fricción en las articulaciones (grados)
 δ : ángulo de fricción en la biela (5.73°)

$$F_1 = \frac{Fh(A + B)}{A} \quad (46)$$

Donde:

- Fh : fuerza manual (588 N)
 A : distancia entre ejes (150 mm)
 B : separación con respecto al punto de separación de los ejes (800 mm)

$$\beta = \arcsin\left(\frac{2D}{L_1 + L_2} * \mu\right) \quad (47)$$

Donde:

- D : diámetro del perno del eje
 L_1, L_2 : longitud de brazo de palanca (150 mm)
 μ : coeficiente de fricción 0.1

$$\beta = 0.95^\circ$$

$$F_1 = 698.25 \text{ N}$$

$$F_{SP} = 317 \text{ N}$$

Conclusión

Mediante el uso del mecanismo, se ejerce la fuerza necesaria para permitir cerrar y abrir la coquilla de 317 N.

3.6.1. Trayectoria de mecanismo de sujeción rápida

3.6.1.1. Esquema cinemático

Forma elemental de representación de un mecanismo, obsérvese la figura 22.

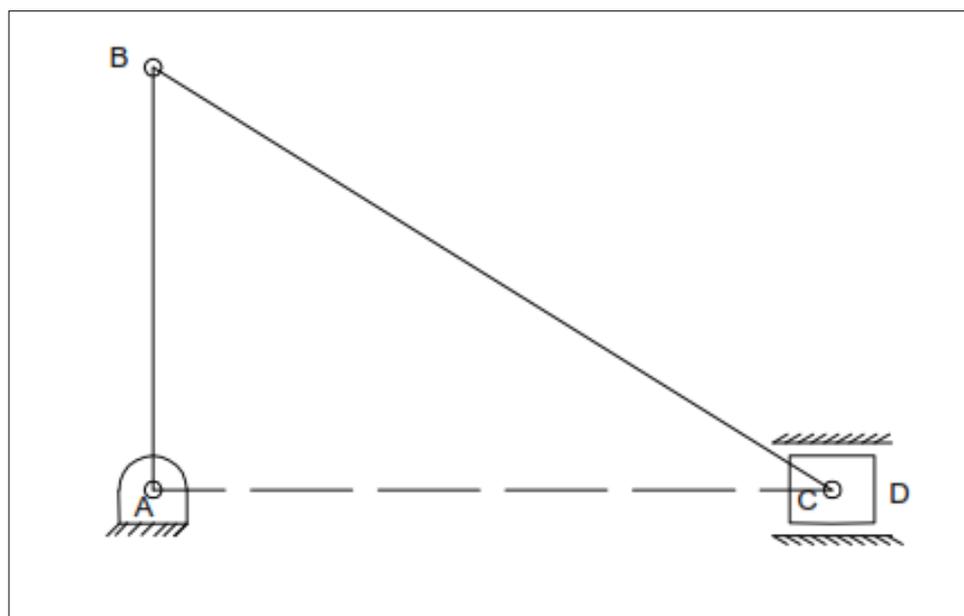


Figura 22. Esquema cinemático (Realizado por: Juan Jacho & Patricio Padilla)

A y D: Eslabón fijo

B y C: Eslabón móvil

3.6.1.2. Grados de libertad

Posibilidad de movimiento de un mecanismo

$$w = 3n - 2p - k \quad (48)$$

Donde:

- w : grado libre
- n : número de eslabones móviles (3)
- p : número de juntas inferiores (4)
- k : número de juntas superiores (0)

$$w = 1$$

Este es un mecanismo forzado

3.6.1.3. Trayectoria del mecanismo de sujeción rápida

La figura 23 muestra la trayectoria del mecanismo de cierre y apertura.

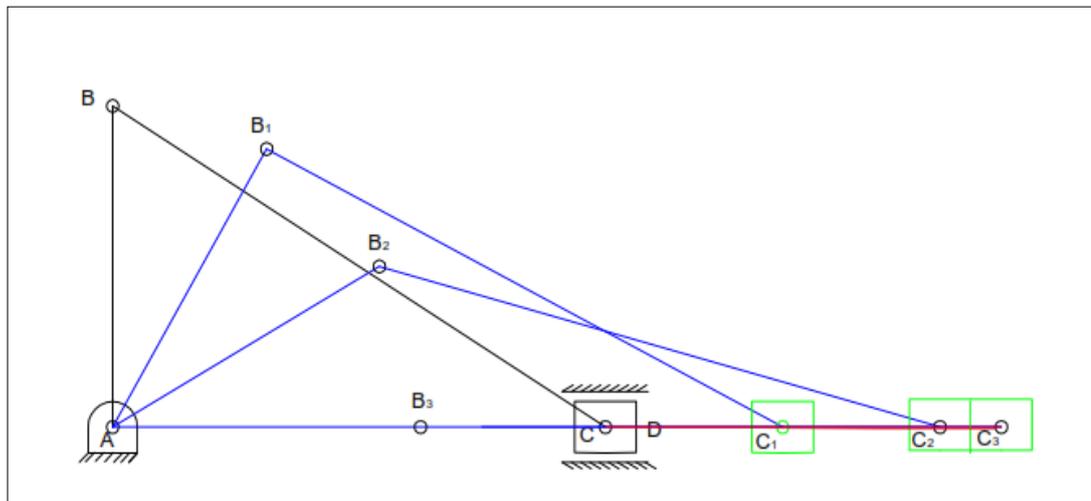


Figura 23. Trayectoria de mecanismo de sujeción rápida

(Realizado por: Juan Jacho & Patricio Padilla)

Mecanismo

AB = 200 mm

BC = 230 mm

La trayectoria obtenida por el eslabón móvil C es de 200 mm, la trayectoria descrita entre los puntos C, C₃ es rectilínea. El mecanismo describe un movimiento de traslación, se muestra en la figura 24.

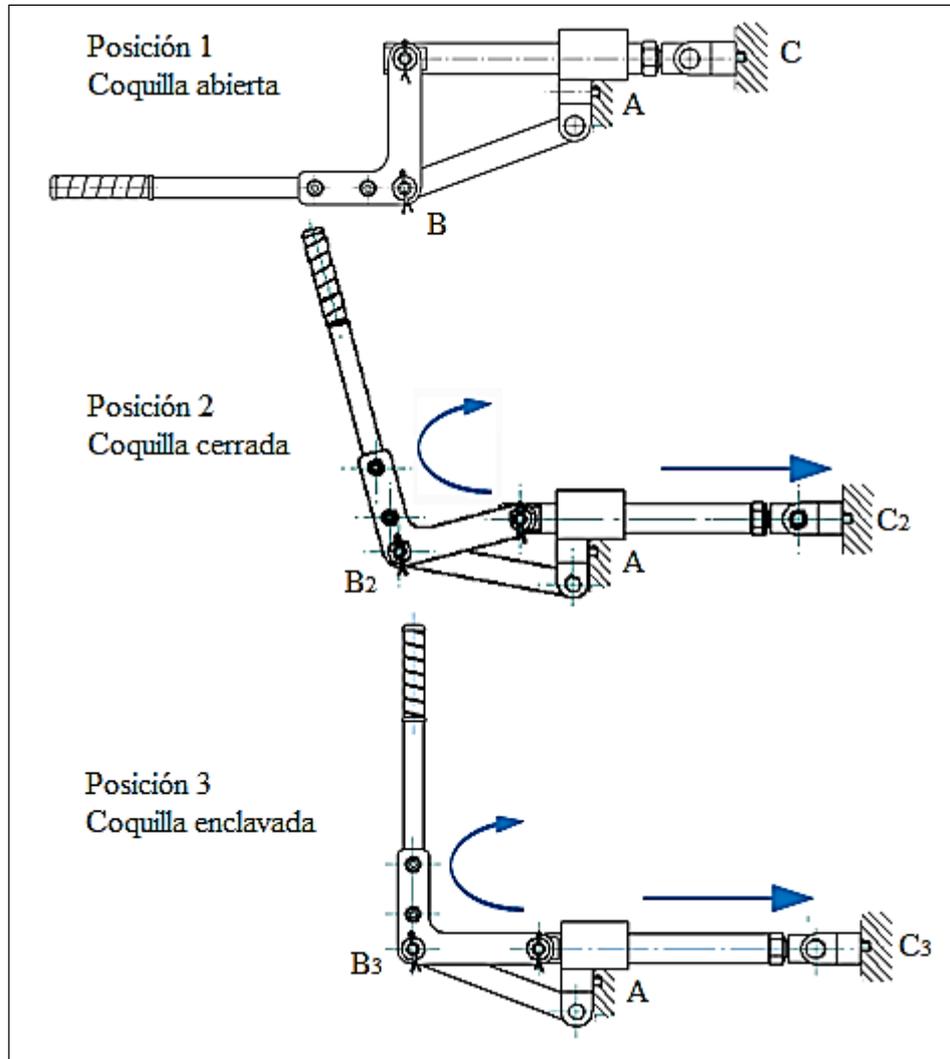


Figura 24. Mecanismo de acción rápida utilizada en Coquilla
(Realizado por: Juan Jacho & Patricio Padilla)

CAPÍTULO IV

Costos de inversión en la construcción de la coquilla

En el presente capítulo se realiza un análisis financiero, en función de la información relacionada con las inversiones y costos inherentes a la construcción de la coquilla para fundición de aluminio.

Para este fin se toma como punto de partida la planificación de las fases del proyecto previamente realizado, considerando valores a desembolsar por conceptos de dirección técnica, adquisición de materiales, alquiler de máquinas, prestación de servicios y contratación de la mano de obra calificada que interviene en el proceso de construcción de la coquilla.

Con este objetivo se define el término costo como la suma de las erogaciones en que incurre una persona para la adquisición de un bien o servicio, con la intención de que genere un ingreso en el futuro. [41, p. 9]

Para el análisis financiero en el diseño y construcción de la coquilla se determinan los costos según la identificación de los mismos, clasificándose en:

- Costos directos.
- Costos indirectos.

4.1. Costos directos.

Los costos directos son aquellos que pueden medirse en forma directa y razonable, y asignarse a una actividad productiva o de trabajo específica. [42, p. 30]

Para determinar los costos que inciden de forma directa en la construcción de los elementos que conforman el equipo coquilla se considera la sumatoria de:

- Costos de materiales.
- Costos por mano de obra.
- Costos de máquinas.

4.1.1. Costos de materiales.

Para el cálculo del costo de los materiales se toma en consideración la materia prima e insumos que se van a incluir en la fabricación y ensamble de la coquilla, entendiéndose por materia prima a todo material metálico, como no metálico que se adquiere en dimensiones brutas para ser transformado en elemento o parte de la maquina luego de atravesar por algún proceso de fabricación por arranque de viruta. Dentro de los insumos se consideran todos aquellos elementos de máquina entre otros productos terminados, adquiridos para formar parte de la fabricación y ensamble final de la máquina.

4.1.1.1. Costos de materia prima.

Para el cálculo del costo de la materia prima se consideran los valores comerciales por kilogramo de peso, estos valores se muestran en la tabla 4.1

Tabla 4. 1 Valores comerciales de materiales.

TIPO	VALOR (USD / KG.)	
	SIN I.V.A.	CON I.V.A.
Acero ASTM A-36	1,18	1,32
Acero AISI-H10	9,50	10,64
Acero SAE-1018	1,73	1,94
Acero AISI-1018	1,73	1,94
Acero AISI-4340	2,60	2,91
Acero ASTM-L2	14,76	16,53
Fundición Gris	6,12	6,85

(Realizado por: Juan Jacho & Patricio Padilla)

Tabla 4. 2 Placas de acero A-36

No.	DESCRIPCIÓN	MATERIAL	CANT. (U)	DIMENSIONES BRUTAS			PESO (kg)	VALOR (USD)
				Largo (mm)	Ancho (mm)	Espesor (mm)		
1	Placa base	ASTM A-36	2	605	115	20	21,85	25,82
2	Refuerzo triangular	ASTM A-36	4	205	77	20	9,91	11,72
3	Placa frontal	ASTM A-36	1	505	305	30	36,27	42,87
4	Placa de extracción	ASTM A-36	1	335	225	25	14,79	17,48
5	Placa central móvil	ASTM A-36	1	505	255	30	30,33	35,85
6	Placa fija posterior	ASTM A-36	1	496	296	25	28,81	34,06
7	Palanca - Clamp	ASTM A-36	1	405	25	25	1,99	2,35
8	Eslabón post. - Clamp	ASTM A-36	2	203	158	12	6,04	7,14
9	Eslabón inf. - Clamp	ASTM A-36	1	230	38	25	1,72	2,03
10	Anclaje placa móvil	ASTM A-36	1	115	80	50	3,61	4,27
11	Anclaje post. - Clamp	ASTM A-36	1	115	80	50	3,61	4,27
12	Placa de anclaje	ASTM A-36	4	65	65	38	5,04	5,96
13	Placa base - Nivelador	ASTM A-36	4	75	65	12	1,84	2,17
Peso total (kg.)				165,8			Sub-total	\$ 195,99
							IVA 12%	\$ 23,52
							SBT 1	\$ 219,50

(Realizado por: Juan Jacho & Patricio Padilla)

Tabla 4. 3 Aceros especiales

No.	DESCRIPCIÓN N	MATERIAL	CANT.	DIMENSIONES BRUTAS			PESO (kg)	VALOR (USD)
				Largo (mm)	Ancho (mm)	Espesor (mm)		
1	Molde fijo	AISI – H 10	1	253	253	50	25,12	298,97
2	Molde móvil	AISI – H 10	1	253	253	50	25,12	298,97
Peso total (kg.)				50,2			Sub-total	\$ 597,94
							IVA 12%	\$ 71,75
							SBT 2	\$ 669,69

(Realizado por: Juan Jacho & Patricio Padilla)

Tabla 4. 4 Barras y elementos cilíndricos

No.	DESCRIPCIÓN	MATERIAL	CANT. (U)	DIMENSIONES BRUTAS		PESO (kg)	VALOR (USD)
				Diámetro (mm)	Longitud (mm)		
1	Columna molde	AISI 4340 (BON. 705)	2	32	55	0,68	1,77
2	Buje cónico	AISI 4340 (BON. 705)	2	40	38	0,75	1,95
3	Pin expulsor molde	ASTM-L2	5	10	52	0,16	2,37
4	Espaciador molde	AISI 4340 (BON. 705)	4	25	45	0,72	1,86
5	Pin contra botador	SAE 1018	2	22	70	0,42	0,72
6	Martillo expulsión	SAE 1018	2	38	85	1,51	2,62
7	Columna principal	AISI 4340 (BON. 705)	4	30	496	11,01	28,57
8	Bocín placa central	FUNDIC. GRIS	4	65	70	7,29	44,64
9	Extensión martillo post.	SAE 1018	4	25	45	0,72	1,24
10	Martillo molde posterior	SAE 1018	4	25	180	2,86	4,95
11	Bocín delantero	SAE-1018	2	38	42	0,75	1,29
12	Pasador D20	AISI 4340 (BON. 705)	2	26	85	0,68	1,77
13	Tornillo de regulación	SAE-1018	1	38	70	0,62	1,08
14	Eje	AISI 4340 (BON. 705)	1	38	320	2,85	7,39
15	Bocín guía	SAE-1018	1	71	90	2,80	4,84
16	Pasador D16	AISI 4340 (BON. 705)	2	16	75	0,24	0,61
17	Soporte cónico	AISI 1018	4	80	60	9,47	16,38
Peso total (kg.)				43,5		Sub-total	\$ 124,05
						IVA 12%	\$ 14,89
						SBT 3	\$ 138,94

(Realizado por: Juan Jacho & Patricio Padilla)

Tabla 4. 5 Otras materias primas.

No.	DESCRIPCIÓN	CANT.	ESPECIFICACIÓN	VALOR (USD)	
				UNITARIO	TOTAL
1	Tubo cuadrado	2	2" x 2 mm x 6000 mm	17,84	35,68
2	Poliamida 6 (Grilon)	4	Ø 42 x 15 mm	0,85	3,40
				Sub-total	\$ 39,08
				IVA 12%	\$ 4,69
				SBT 4	\$ 43,77

(Realizado por: Juan Jacho & Patricio Padilla)

4.1.1.2. Costos de insumos

En la tabla 4.6 se detallan los elementos normalizados y demás insumos utilizados en la fabricación de la coquilla.

Tabla 4.6 Costos de insumos

No.	DESCRIPCIÓN	CANT.	ESPECIFICACIÓN	VALOR (USD)	
				UNIT.	TOTAL
1	Perno allen M8	4	M8 x 1,25 x 20 - DIN 912	0,15	0,60
2	Perno allen M8	4	M8 x 1,25 x 40 - DIN 912	0,20	0,80
3	Perno allen M10	2	M10 x 1,5 x 20 - DIN 912	0,22	0,44
4	Perno allen M10	2	M10 x 1,5 x 25 - DIN 912	0,22	0,44
5	Perno allen M10	13	M10 x 1,5 x 30 - DIN 912	0,22	2,86
6	Perno allen M10	12	M10 x 1,5 x 35 - DIN 912	0,30	3,60
7	Perno allen M10	3	M10 x 1,5 x 40 - DIN 912	0,35	1,05
8	Perno allen M10	2	M10 x 1,5 x 65 - DIN 912	0,65	1,30
9	Perno allen M12	4	M12 x 1,75 x 20 - DIN 912	0,31	1,24
10	Perno allen M12	4	M12 x 1,75 x 30 - DIN 912	0,34	1,36
11	Perno allen M12	6	M12 x 1,75 x 35 - DIN 912	0,35	2,10
12	Perno allen M12	4	M12 x 1,75 x 40 - DIN 912	0,40	1,60
13	Perno allen M12	4	M12 x 1,75 x 45 - DIN 912	0,45	1,80
14	Perno allen M12	4	M12 x 1,75 x60 - DIN 912	0,56	2,24
15	Perno allen cabeza avellanada M6	5	M6 x 1 x 20 - DIN 7991	0,06	0,30
16	Perno allen cabeza avellanada M10	2	M10 x 1,5 x 25 - DIN 7991	0,22	0,44
17	Perno hexagonal M14	1	M14 x 1,75 x 70 - DIN 931	1,00	1,00
18	Tuerca hexagonal M10	3	M10 x 1,5 - DIN 934	0,25	0,75
19	Tuerca hexagonal M14	1	M14 x 1,75 - DIN 934	0,35	0,35
20	Tuerca hexagonal M24	1	M24 x 3 - DIN 934	0,65	0,65
21	Arandela de presión M10	2	M10 - DIN 127	0,03	0,06
22	Arandela plana M10	4	Ø 11 - DIN 125 B	0,03	0,12
23	Arandela M12	4	Ø 12,5 - DIN 125 B	0,03	0,12
24	Arandela plana 17	4	Ø 17 - DIN 125 B	0,10	0,40
25	Pasador de aletas	4	Ø 4 x 40	0,15	0,60
26	Anillo de seguridad - Ø 45	4	Ø 45 x 1,75 - DIN 471	0,82	3,28
27	Anillo de seguridad - Ø 20	2	Ø 20 x 1,2 - DIN 471	0,42	0,84
28	Manigueta	1	-	2,30	2,30
29	Inserto Set 12T3-DR	10	YBG-202	7,02	70,20
30	Placa de apoyo para inserto	2	SE-12	4,70	9,40
31	Tornillo para placa de apoyo	2	S13-BS	3,83	7,66
32	Tornillo para inserto	2	L60M3 - 5 x 12	3,00	6,00
33	Pliego de lija Norton 320	1	No. 320	0,31	0,31
34	Pliego de lija Norton 1200	1	No. 1200	0,50	0,50
35	Electrodos E-6011 - Kilo	1	AGA E-6011	3,29	3,29
				Sub-total	\$ 130,00
				IVA 12%	\$ 15,60
				SBT 5	\$ 145,60

(Realizado por: Juan Jacho & Patricio Padilla)

En la tabla 4.7 se muestra el valor desembolsado por costo total de materia prima.

Tabla 4. 7 Total costos de materia prima (CD1)

Σ (SBT1+SBT2+SBT3+SBT4+SBT5)	\$ 1217,51
--------------------------------------	-------------------

(Realizado por: Juan Jacho & Patricio Padilla)

4.1.1.3. Costos por mano de obra.

El costo a desembolsar por concepto de la mano de obra se obtiene a través de la relación existente entre el salario nominal que devengue el trabajador y el número de horas que comprende la jornada laboral de la empresa. [43, p. 94]

Para determinar estos valores se consideran la Tabla de Sueldos Mínimos Sectoriales 2018 publicada en la página web del Ministerio del Trabajo de Ecuador, los mismos que mantienen concordancia con los códigos sectoriales 2018 del IESS. [44], A continuación en la tabla 4.8, se muestran los valores utilizados en el cálculo.

Tabla 4. 8 Códigos sectoriales IESS - Técnicos del sector de metalmecánico [44]

CÓDIGO	COMISIÓN	RAMA	CÓDIGO CARGO	CARGO	VALOR (USD)
552	METAL MECÁNICA	MRL-RESTO DE RAMAS (CIU:20000000)	8200000000006	TÉCNICOS DEL SECTOR DE METAL MECÁNICO	\$ 400,54

Tabla 4. 9 Costo hora – Técnicos del sector de metalmecánica.

SALARIO MÍNIMO SECTORIAL 2018 (USD)	HORAS SEMANALES DE TRABAJO	No. SEMANAS POR MES	TOTAL HORAS AL MES	COSTO HORA (USD)
400,54	40	4	160	\$ 2,50

(Realizado por: Juan Jacho & Patricio Padilla)

Tabla 4. 10 Costos de mano de obra (CD2)

ACTIVIDAD	No. HORAS	No. PERSONAS	DE COSTO HORA (USD)	TOTAL HORAS	SUBTOTAL (USD)
Mecanizados	54	2	2,50	128	270,365
Ensamble	24	2	2,50	48	120,162
Otras operaciones manuales	8	1	2,50	8	20,027
Calibración, Ajustes y Pruebas	16	2	2,50	32	80,108
Total costo de mano de obra - CD2					\$ 490,66

(Realizado por: Juan Jacho & Patricio Padilla)

4.1.1.4. Costos de máquina.

Para encontrar el costo de maquina se consideran los valores comerciales por concepto de alquiler que se detalle en la tabla 4.11.

Tabla 4. 11 Valores de hora máquina.

MÁQUINA	CÓDIGO	COSTO / HORA (USD)
Torno	TOR	12,00
Fresadora	FRE	12,00
Tronzadora	TZD	8,00
Suelda Eléctrica	SEL	10,00
Centro de Mecanizado	CNC	30,00
Rectificadora	REC	20,00

(Realizado por: Juan Jacho & Patricio Padilla)

En la tabla 4.12 se muestran los valores concernientes al costo de máquinas.

Tabla 4. 12 Costo de máquinas (CD3)

ELEMENTO A MECANIZAR	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	HORAS - MÁQUINA					
			TOR	FRE	TZD	SEL	CNC	REC
Placa base		2	-	2,00	-	-	-	-
Refuerzo triangular		4	-	1,00	-	-	-	-
Placa frontal		1	-	1,00	-	-	2,50	-
Placa de extracción		1	-	1,00	-	-	1,50	-
Placa central móvil		1	-	1,00	-	-	2,50	-
Placa fija posterior		1	-	1,00	-	-	2,00	-

Palanca	1	1,00	0,50	-	-	-	-
Eslabón posterior	2	-	0,50	-	-	-	-
Eslabón inferior	1	-	2,00	-	-	-	-
Anclaje placa móvil	1	-	2,00	-	-	-	-
Anclaje posterior	1	-	2,00	-	-	-	-
Placa de anclaje	4	-	1,50	-	-	-	-
Placa base nivelador	4	-	1,00	-	-	-	-
Molde fijo	1	-	0,75	-	-	6,00	0,50
Molde móvil	1	-	0,75	-	-	6,00	0,50
Columna molde	2	1,50	-	-	-	-	-
Buje cónico	2	1,50	-	-	-	-	-
Pin expulsor molde	5	2,00	-	-	-	-	-
Espaciador molde	4	0,50	-	-	-	-	-
Pin contra botador	2	0,50	-	-	-	-	-
Martillo expulsión	2	0,50	-	-	-	-	-
Columna principal	4	2,00	-	-	-	-	-
Bocín placa central	4	2,00	-	-	-	-	-
Extensión martillo posterior	4	1,00	-	-	-	-	-
Martillo molde posterior	4	1,00	-	-	-	-	-
Bocín delantero	2	0,50	-	-	-	-	-
Pasador D20	2	0,25	-	-	-	-	-
Tornillo de regulación	1	1,00	-	-	-	-	-
Eje	1	0,50	1,00	-	-	-	-
Bocín guía	1	0,75	0,50	-	-	-	-
Pasador D16	2	0,50	-	-	-	-	-
Soporte cónico	4	1,00	0,50	-	-	-	-
Bastidor	1	-	-	2,00	4,00	-	-
Poliamida 6 (Grilon)	4	1,00	-	-	-	-	-
Total horas maquina		19,0	20,0	2,0	4,0	20,5	1,0
Costo por maquina		228,0	240,0	16,0	40,0	615,0	20,0
Total costo de maquina (CD3)						\$	1 159,00

(Realizado por: Juan Jacho & Patricio Padilla)

En la tabla 4.13 se resume el total de los costos directos en la fabricación de la coquilla.

Tabla 4. 13 Costos directos totales (CDT)

RUBRO	VALOR
Costo de materiales	\$ 1.279,37
Costo de mano obra	\$ 540,73
Costo de maquinas	\$ 1.255,00
Total	\$ 3.075,10

(Realizado por: Juan Jacho & Patricio Padilla)

4.2. Costos indirectos

Los costos indirectos de fabricación se consideran a todos aquellos costos que no pueden relacionarse directamente con el objeto de costo, o bien, que sería muy costoso o complicado hacerlo. [45, p. 125]

Para el análisis económico en la construcción de la máquina se consideran los siguientes costos indirectos:

- Costo de diseño y dirección técnica.
- Gastos indirectos.

4.2.1. Costos de diseño y dirección técnica

En la determinación de este valor se toma en cuenta tanto la intervención intelectual como manual de la o las personas encargadas de realizar el diseño e información de partida, es decir el cálculo, modelado y la elaboración de planos previos a la construcción de la máquina.

Cabe indicar que para el cálculo de estos valores se considera el costo por hora del personal involucrado en estas actividades, tomando como referencia la tabla de sueldos mínimos sectoriales 2018 publicada en la página web del Ministerio del trabajo de Ecuador, los mismos que mantienen concordancia con los códigos sectoriales 2018 del IESS. [44], En la tabla 4.14, se muestran los valores utilizados en el cálculo.

Tabla 4. 14 Códigos sectoriales IESS - Jefe de primer nivel del sector de metalmecánica [44]

CÓDIGO	COMISIÓN	RAMA	CÓDIGO CARGO	CARGO	VALOR (USD)
548	METAL MECÁNICA	MRL-RESTO DE RAMAS (CIU:10000000)	810000000001	JEFE DE PRIMER NIVEL DEL SECTOR DE METAL MECÁNICA	400,92

Tabla 4. 15 Cálculo costo hora - Jefe de primer nivel del sector de metalmecánica

SALARIO MÍNIMO SECTORIAL 2018 (USD)	HORAS SEMANALES DE TRABAJO	No. SEMANAS POR MES	TOTAL HORAS AL MES	COSTO HORA (USD)
400,92	40	4	160	\$ 2,51

(Realizado por: Juan Jacho & Patricio Padilla)

Tabla 4. 16 Costo de diseño y dirección técnica (CII)

ACTIVIDAD	No. HORAS	No. DE PERSONAS	COSTO HORA (USD)	TOTAL HORAS	SUBTOTAL (USD)
Diseño	45	2	2,50575	90	225,518
Planos y Documentación	40	2	2,50575	80	200,46
Dirección técnica	14	1	2,51	14	35,14
Calibración, Ajustes y Pruebas	8	2	2,51	16	40,16
Total costo de diseño y dirección técnica - CII					\$ 501,28

(Realizado por: Juan Jacho & Patricio Padilla)

4.2.2. Gastos indirectos.

Como gasto indirecto se toman en consideración todo desembolso de dinero realizado previo y durante la construcción de la máquina, siendo valores necesarios a pagar aun cuando no mantienen relación directa con esta actividad. Entre estos rubros se reflejan valores por movilización, transportación de materiales,

alimentación de personal en jornadas extendidas de trabajo, papelería, impresión de planos y documentos. En la tabla 4.17, se detallan estos valores.

Tabla 4. 17 Gastos indirectos (CI2)

RUBRO	VALOR (USD)
Movilización	40,00
Transporte	60,88
Alimentación	68,00
Planos y documentos	40,62
Papelería	20,00
Total gastos indirectos - CI2	\$ 229,50

(Realizado por: Juan Jacho & Patricio Padilla)

Tabla 4. 18 Costos indirectos totales (CIT).

RUBRO	VALOR
Costo de diseño y dirección técnica (CII)	\$ 501,28
Gastos indirectos (CI2)	\$ 229,50
Total	\$ 730,77

4.3. Costo total en construcción de la coquilla para fundición de aluminio.

En la tabla 4.19, se muestra el costo total de inversión en la construcción de la máquina.

Tabla 4. 19 Costo total en la construcción de la coquilla

RUBRO	VALOR
Costos directos (CD)	\$ 2867,17
Costos indirectos (CI)	\$ 730,77
Total	\$ 3597,94

(Realizado por: Juan Jacho & Patricio Padilla)

4.4. Análisis financiero de la inversión.

Para poder realizar el análisis financiero de la inversión, se considera a la coquilla como un activo fijo tangible, el cual refleja un costo representativo con la finalidad de mantener una actividad regular durante un periodo mayor a un año.

Los activos fijos pierden su valor por el uso o por la obsolescencia, disminuyendo su potencial de servicio [46, p. 252], razón por la cual es necesario calcular el valor por depreciación que sufrirá la maquina en el tiempo.

Finalmente con el objetivo de realizar el análisis financiero de la inversión inherente a la construcción de la maquina se utilizan los métodos VAN y TIR.

4.4.1. Depreciación.

Es el proceso de asignar a gasto el costo de un activo de planta o activo fijo, durante el periodo en que se usa el activo. [46, p. 252]

Para realizar la depreciación se usa el método de la línea recta, que consiste en recuperar una misma cantidad anual por un número de años determinado por la vida útil del bien, tomando en cuenta un valor residual luego de transcurrido este lapso de tiempo. [47, p. 167]

Método de línea recta:

$$Dp = \frac{VA - VR}{VU} \quad (49)$$

Dónde:

Dp : Depreciación (\$/año)

VA : Valor actual; Costo total de construcción de la coquilla (\$)

VR : Valor residual (\$)

VU : Vida útil o años a depreciar (años)

En la tabla 4.20, se muestran las condiciones bajo las cuales se realiza la depreciación de la máquina:

Tabla 4. 20 Condiciones para la depreciación de la máquina.

VA (USD)	VR (USD)			VU (AÑOS)
	Expresión	% Depreciación	Valor (USD)	
3597,94	10% *(VA)	10%	359,79	10

(Realizado por: Juan Jacho & Patricio Padilla)

Estos valores se sustituyen en la fórmula para obtener el costo de depreciación de la máquina que se muestra a continuación:

$$Dp = 323,81 \frac{\$}{\text{año}}$$

En conclusión la máquina sufre una depreciación de 323,81 USD anuales, durante 10 años, en la tabla 4.21 se detalla esta depreciación.

Tabla 4. 21 Tabla de depreciación.

Activo a Depreciarse:		Coquilla para fundición de aluminio	
Periodo (AÑO)	Depreciación Anual	Depreciación Acumulada	Valor en libros
			3597,94
1	323,81	323,81	3274,13
2	323,81	647,63	2950,31
3	323,81	971,44	2626,50
4	323,81	1295,26	2302,68
5	323,81	1619,07	1978,87
6	323,81	1942,89	1655,05
7	323,81	2266,70	1331,24
8	323,81	2590,52	1007,42
9	323,81	2914,33	683,61
10	323,81	3238,15	359,79

(Realizado por: Juan Jacho & Patricio Padilla)

4.4.2. Mantenimiento del equipo

Para la determinación del costo del mantenimiento se considera un valor porcentual del costo total del equipo, en la tabla 4.22 se muestra el valor semestral y anual que estará destinado a tareas de mantenimiento de la coquilla.

Tabla 4. 22 Costo de mantenimiento

ACTIVO / EQUIPO	COSTO TOTAL ACTIVO	% COSTO DE MTTO.	COSTO MTTO. SEMESTRAL	COSTO MTTO. ANUAL
COQUILLA	\$ 3.597,94	3%	\$ 107,94	\$ 215,88

(Realizado por: Juan Jacho & Patricio Padilla)

4.4.3. Costos operativos

En los costos operativos se consideran los valores correspondientes a la adquisición de recursos necesarios para la fundición del metal a colar, de la misma forma para el precalentamiento del molde previo al colado del material fundido, para estas actividades se requiere del GLP (Gas licuado de petróleo) y de la supervisión del Docente a cargo responsable de la asignatura, en la tabla 4.23 se detallan estos valores.

Tabla 4. 23 Costos operativos

ACTIVIDAD	TIEMPO (HORAS)	COSTO RECURSOS	COSTO SEMESTRAL	COSTO ANUAL
Pre-calentamiento	0,5	\$ 1,60	\$ 0,80	\$ 1,60
Funcionamiento horno	1	\$ 1,60	\$ 1,60	\$ 3,20
Supervisión proceso	4	\$ 12	\$ 48	\$ 96
Total costo operativo				\$ 100.80

(Realizado por: Juan Jacho & Patricio Padilla)

4.4.4. Análisis del valor actual neto (VAN).

Gabriel Baca Urbina define al VAN como el valor monetario que resulta de restar la suma de flujos descontados a la inversión inicial. [47, p. 214]

Con esta premisa podemos decir que el VAN se evalúa a partir de calcular el resultante de los egresos e ingresos producidos por la máquina, considerando la tasa mínima aceptable de rendimiento (TMAR), además en necesario encontrar el valor correspondiente al flujo neto de efectivo (FNE).

Con la finalidad de analizar el VAN, vamos a calcular la TMAR, a partir de la siguiente expresión:

$$TMAR = i + f + (i * f) \quad (50)$$

Dónde:

i : premio al riesgo

f : inflación

La TMAR que un inversionista le pediría a una inversión debe calcularla sumando dos factores: primero, debe ser tal su ganancia que compense los efectos inflacionarios, y en segundo término, debe ser un premio o sobretasa por arriesgar su dinero en determinada inversión. [47, p. 176]

El índice inflacionario para calcular la TMAR de la formula, debe ser el promedio del índice inflacionario pronosticado para los próximos cinco años. El premio al riesgo es la tasa de crecimiento real del dinero invertido, habiendo compensados los efectos inflacionarios, debe ser entre 10 % y 15 %. [47, p. 176]

Para calcular el índice inflacionario necesario para el cálculo del TMAR, vamos a tomar como referencia la inflación anual acumulada en el mes de enero de los

últimos cinco años, con esta información se calcula un valor promedio tomando en cuenta que instituciones como el Banco Central del Ecuador y el Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC) no presentan valores de índice inflacionario pronosticado para los años venideros.

Tabla 4. 24 Historial inflación anual [48]

Mes /Año	Inflación
ene-14	2,92
ene-15	3,53
ene-16	3,09
ene-17	0,9
ene-18	0,09
Índice inflacionario	2,106

Tabla 4. 25 Condiciones y cálculo de la TMAR

Condiciones		TMAR	
Índice Inflacionario (i)	Premio al riesgo (f)	Expresión	Resultado
2,106	10 %	$TMAR=i+f+(i*f)$	0,1232

(Realizado por: Juan Jacho & Patricio Padilla)

La tasa mínima aceptable de rendimiento (TMAR) es de 12,32 %, con este valor se calcula el TMAR Global, tomando en cuenta a cada uno de los autores del presente proyecto como un inversionista cuya aportación es del 50 %.

Tabla 4. 26 Cálculo de la TMAR Global

Accionista	% de Aportación	TMAR	Ponderación
1 (Juan Jacho)	50 %	0,123166	0,061583
2 (Luis Padilla)	50 %	0,123166	0,061583
TMAR Global = % de Aportación x TMAR			0,123166

(Realizado por: Juan Jacho & Patricio Padilla)

La diferencia entre los flujos de entradas de efectivo totales (ingresos) y los flujos de salida de efectivo (egresos) para un periodo específico de tiempo (por ejemplo, un año), es el flujo neto de efectivo (FNE). [42, p. 77]

Una vez calculada la tasa mínima aceptable de rendimiento también conocida con el nombre de costo de capital (TMAR) y encontrado el Flujo neto de efectivo, se procede a calcular el VAN en función de la siguiente expresión:

$$VAN = -P + \frac{FNE}{(1+i)^1} + \frac{FNE}{(1+i)^2} + \dots + \frac{FNE}{(1+i)^9} + \frac{FNE + VS}{(1+i)^{10}} \quad (51)$$

$$VAN = \sum_{t=1}^n \frac{FNE}{(1+i)^t} - P \quad (52)$$

Dónde:

P : es el valor del desembolso inicial de la inversión.

FNE : representa los flujos de caja en cada periodo t.

i : costo de capital

n : es el número de períodos considerado.

Tabla 4. 27 Cálculo del valor actual neto (VAN)

PERIODO (AÑO)	INGRESOS		CONDICIONES			FLUJO NETO DE EFECTIVO (USD)
	INGRESO SEMESTRA L (USD)	INGRESO ANUAL (USD)	INVERSION INICIAL (USD)	COSTO DE CAPITAL	DEPRECIACIÓN ANUAL (USD)	
1	514,5	1029			323,81	705,19
2	588	1176			323,81	852,19
3	787,5	1575			323,81	1251,19
4	703,5	1407			323,81	1083,19
5	682,5	1365			323,81	1041,19
6	655,2	1310,4	3597,94	0,123	323,81	986,59
7	655,2	1310,4			323,81	986,59
8	655,2	1310,4			323,81	986,59
9	655,2	1310,4			323,81	986,59
10	655,2	1310,4			323,81	986,59
Valor actual neto (VAN)						\$ 1 825,9

(Realizado por: Juan Jacho & Patricio Padilla)

Una vez calculado el valor actual neto (VAN), se puede evaluar este resultado bajo los siguientes criterios, según Gabriel Baca Urbina:

Cuando $VAN > 0$: La inversión es rentable

Cuando $VAN = 0$: La inversión es indiferente

Cuando $VAN < 0$: La inversión tiene pérdidas

En el caso $VAN > 0$; no es importante cuánto mayor a cero sea el valor, esto es una ganancia extra después de aplicar una TMAR conveniente. [47, p. 214]

En este caso se concluye, que de acuerdo a los criterios antes descritos y con el resultado del $VAN = \$ 1.825,9$; la inversión es rentable.

4.4.5. Análisis de la tasa interna de retorno (TIR).

Es la tasa de descuento por la cual el VAN es igual a cero. [47, p. 216]

También se puede considerar que es la tasa que iguala la suma de los flujos descontados a la inversión inicial [47, p. 216]

Podemos realizar el cálculo de TIR con la siguiente expresión:

$$VAN = \sum_{t=1}^n \frac{FNE}{(1 + TIR)^t} - P = 0 \quad (53)$$

Dónde:

P : es el valor del desembolso inicial de la inversión.

FNE : representa los flujos de caja en cada periodo t .

n : es el número de períodos considerado.

En esta ecuación hay que calcular la TIR, para que el VAN sea cero (0).

4.4.6. Periodo de recuperación de la inversión (PRI).

El periodo de la recuperación de la inversión, en ingles Payback Periodo, es el tiempo necesario para que el proyecto recupere el capital invertido. Los costos totales del proyecto se comparan con los ingresos generados y la longitud de tiempo que toma a los ingresos igualar los gastos del proyecto. [49, p. 54]

Para realizar el cálculo del PRI, se calcula el flujo acumulado, tomando en cuenta la siguiente consideración:

Para obtener un valor de flujo acumulado, se suma el acumulado del mes anterior con el flujo neto actual. [50]

A continuación se muestra un ejemplo del cálculo del flujo acumulado en el segundo año de trabajo de la maquina:

$$F_{AC 2} = - 3425,31 + 319,63 = -3105,68$$

Finalmente para calcular el PRI, se considera la siguiente expresión:

$$PRI = A + \left[\frac{|B|}{C} \right] \quad (54)$$

Dónde:

A : Periodo último con flujo acumulado negativo.

B : Último flujo acumulado negativo.

C : Valor del flujo de caja en el siguiente periodo.

$$PRI = 2 + \left[\frac{|- 3105,68|}{718,63} \right]$$

$$PRI = 6,32 \text{ Años}$$

Con este resultado se puede concluir que la inversión en la construcción de la coquilla para fundición de aluminio, será recuperada en un periodo de 5,72 Años.

En la tabla 4.28, se muestra un resumen del análisis financiero, con los resultados del VAN, TIR y finalmente el periodo estimado para la recuperación del capital invertido en la construcción de la coquilla.

Tabla 4. 28 Periodo de recuperación de la inversión en la construcción de la coquilla

Tiempo / Años	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
INGRESOS											
Costo piezas fundidas	0	705,19	852,19	1251,19	1083,19	1041,19	986,59	986,59	986,59	986,59	986,59
EGRESOS											
Mantenimiento del equipo	0	107,94	107,94	107,94	107,94	107,94	107,94	107,94	107,94	107,94	107,94
Costos operativos	0	100,80	100,80	100,80	100,80	100,80	100,80	100,80	100,80	100,80	100,80
Depreciación	0	323,81	323,81	323,81	323,81	323,81	323,81	323,81	323,81	323,81	323,81
Flujo neto	\$ -3.597,94	172,63	319,63	718,63	550,63	508,63	454,03	454,03	454,03	454,03	454,03
Flujo acumulado neto	\$ -3.597,94	- 3425,31	-3105,68	-2387,04	-1836,41	-1327,78	-873,75	-419,71	34,32	488,35	942,38
VAN						1825,89					
TIR						4,3 %					
PRI (Payback)						6,32 Años					

(Realizado por: Juan Jacho & Patricio Padilla)

Conclusiones

- Se ha diseñado y construido una coquilla de 250 mm x 250 mm x 50 mm para fundir aluminio en el laboratorio destinado a las prácticas de fundición de la Carrera de Ingeniería Mecánica de la UPS, este equipo dadas sus características de fácil operación, va a contribuir al aprendizaje de los estudiantes durante la realización de las prácticas de una manera sencilla, rápida y eficaz.
- Se ha seleccionado para la construcción un mecanismo manual de acción rápida que ayudara en la apertura, cierre y sujeción de la coquillas durante el proceso de fundición, el mecanismo mencionado genera una fuerza de 317 N.
- El equipo construido tiene una capacidad de montaje y soporte para una coquilla de 250 mm x 250 mm x 50 mm, cabe resaltar que el equipo posee la capacidad de soportar un peso máximo de 1200 kg, considerando una distancia de apertura máxima entre las mitades del molde de 150 mm de longitud.
- Se concluye que el material apropiado para la construcción de la coquilla es el acero W-320 (H10), debido a que es un acero para trabajos en caliente con gran resistencia a fisuras por recalentamiento, alta resistencia en estado caliente y gran tenacidad [24]. Cabe destacar que este acero es capaz de soportar temperaturas de hasta 900 °C sin sufrir deformación.

- Mediante la fundición por gravedad en coquilla, se obtiene la pieza fundida (cenicero), la cual tiene un peso de 0,8 kg. en un lapso de tiempo de 25 segundos, cabe indicar que debido a la contracción durante la solidificación y con respaldo en las muestras obtenidas se puede evidenciar una variación porcentual de 1,3 % en las dimensiones lineales del producto obtenido.
- Luego de realizado el análisis financiero se concluye que el costo final de proyecto es de \$ 3597,94 del cual la tasa mínima aceptable de retorno (TMAR) es de 12,32 %; con un valor actual neto (VAN) de \$ 1825,9, valor que confirma la rentabilidad de la inversión con una tasa interna de retorno (TIR) del 7,4 % pronosticándose un periodo de recuperación de la inversión (PRI) de 5,72 años. Cabe resaltar que el proyecto está concebido con fines educativos.

Recomendaciones

- Durante la construcción del equipo se recomienda poner atención y respetar tanto las tolerancias dimensionales como geométricas, mostradas en los planos de fabricación.
- Implementar un sistema automático para el cierre y apertura de las mitades de la coquilla, el cual puede ser neumático a través de un mecanismo cilindro pistón, lo cual facilitará el manejo del equipo, se recomienda también colocar un sistema de enfriamiento para el molde, mediante aire comprimido, esto permitirá enfriar con rapidez y facilidad la coquilla, con la finalidad de alargar la vida útil del mismo.
- La coquilla requiere de un precalentamiento previo a la utilización, a una temperatura de entre 250 °C y 300 °C, para evitar el choque térmico, actualmente se lo realiza con ayuda de un equipo oxiacetilénico, se recomienda colocar un conjunto de niquelinas las cuales permiten cumplir esta función de manera más segura y controlada..
- El molde permanente puede ser construido con acero SAE 1045, un acero de medio carbono que presenta buenas características a altas temperaturas y de menor costo que el acero AISI H10 que fue el material con el cual se fabricó esta coquilla, este cambio incide directamente en el precio del equipo reduciendo hasta en un 40 % el valor del molde, considerando que los trabajos a realizar son prácticas académicas.
- Para obtener una pieza de dimensiones exactas se debe sobre dimensionar el molde a construir debido que el aluminio tiene una contracción de 7 % volumétrico, cambiando las dimensiones finales.

Anexos

Anexo 1

Catalogo Acero AISI H10

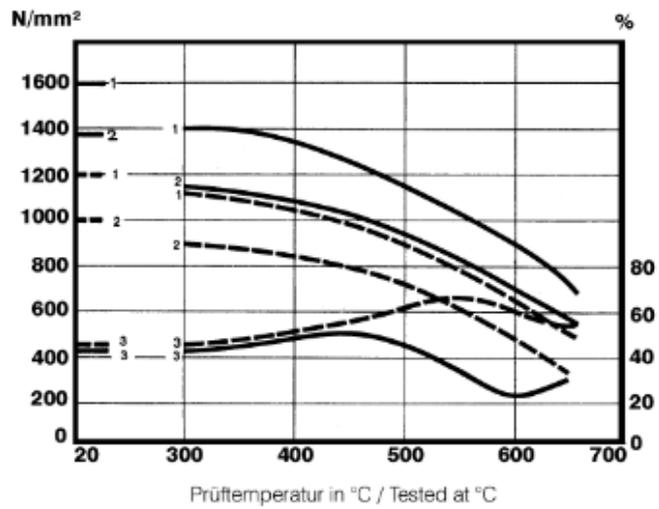
BÖHLER W320

Warmfestigkeitsschaubild

— vergütet 1600 N/mm²
- - - - - vergütet 1200 N/mm²
1... Zugfestigkeit N/mm²
2... 0.2-Grenze N/mm²
3... Einschnürung %

Hot strength chart

— heat treated 1600 N/mm²
- - - - - heat treated 1200 N/mm²
1... Tensile strength N/mm²
2... 0.2% proof stress N/mm²
3... Reduction of area %



Anexo 2

Catalogo acero AISI H10

BÖHLER W320

Physikalische Eigenschaften

Physical properties

Dichte bei / Density at

20°C (68°F)	7,85	kg/dm ³
500°C (932°F)	7,69	kg/dm ³
600°C (1112°F)	7,65	kg/dm ³

Spezifische Wärme bei / Specific heat at

20°C (68°F)	460	J/(kg.K)
500°C (932°F)	550	J/(kg.K)
600°C (1112°F)	590	J/(kg.K)

Wärmeleitfähigkeit bei 20°C / Thermal conductivity at

20°C (68°F)	30,0	W/(m.K)
500°C (932°F)	30,1	W/(m.K)
600°C (1112°F)	29,7	W/(m.K)

Spez. elektr. Widerstand bei / Electrical resistivity at

20°C (68°F)	0,37	Ohm.mm ² /m
500°C (932°F)	0,78	Ohm.mm ² /m
600°C (1112°F)	0,89	Ohm.mm ² /m

Elastizitätsmodul bei / Modulus of elasticity at

20°C (68°F)	215 x 10 ³	N/mm ²
500°C (932°F)	176 x 10 ³	N/mm ²
600°C (1112°F)	165 x 10 ³	N/mm ²

Wärmeausdehnung zwischen 20°C und ...°C, 10 ⁻⁶ m/(m.K) bei	Temperatur/Temperature °C / °F		10 ⁻⁶ m/(m.K)
		100°C	
	200°C	392°F	12,5
	300°C	572°F	12,7
Thermal expansion between 20°C (68°F) and ...°C (°F), 10 ⁻⁶ m/(m.K) at	400°C	752°F	13,0
	500°C	932°F	13,2
	600°C	1112°F	13,4
	700°C	1292°F	13,7

Für Anwendungen und Verarbeitungsschritte, die in der Produktbeschreibung nicht ausdrücklich erwähnt sind, ist in jedem Einzelfall Rücksprache zu halten.

As regards applications and processing steps that are not expressly mentioned in this product description/data sheet, the customer shall in each individual case be required to consult us.

Anexo 3

Catálogo acero ASTM A36



PLANCHAS LAMINADAS AL CALIENTE



Especificaciones Generales

Espesores: 1,20mm a 150,00mm
Roles: Ancho 1000mm, 1220mm, 1500mm
Planchas: 4 x 8 pies y a medida

PLANCHAS

Calidad Comercial

Calidad	Composición Química								Propiedades Mecánicas			
	% C	%Mn	%P	%S	%SI	%AL	%CU	Esfuerzo Máximo (Mpa)	Alargamiento %	Doblado 180°	Norma Equivalente	
JIS G3131 SPHC	0,08 0,13	0,3 0,6	0,02 max	0,025 max	0,05 max	0,02 0,08	0,2 max	270 min	20 min	0=0a	SAE 1010 ASTM A469	
SAE 1008	0,03 0,1	0,25 0,5	0,02 max	0,025 max	0,04 max	0,02 0,08	0,2 max					
SAE 1012	0,1 0,15	0,3 0,6	0,02 max	0,025 max	0,03 max	0,02 0,08	0,2 max					

PLANCHAS

Calidad Estructural

Norma	Composición Química								Propiedades Mecánicas				
	% C	%Mn	%P	%S	%SI	%CU	OTROS	Fluencia (Mpa)	Esfuerzo Máximo (Mpa)	Alargamiento %	Doblado 180°	Norma Equivalente	
ASTM A-588M Grado A	0,19 max	0,8 1,25	0,04 max	0,05 max	0,3 0,6	0,25 0,40	Ni 0,15-0,35 Cr 0,40-0,65 V 0,03-0,10	345 min	485 min	18 min	0=1,5e	SAE 1015	
ASTM A-283 Grado C	0,12 0,18	0,3 0,6	0,025 max	0,03 max	0,04 max	0,2 max		205 min	380 516 max	25 min			
JIS G-3101 S541 M	0,17 0,23	0,3 0,6	0,025 max	0,025 max	0,04 max	0,25 max		250 min	400 min 550 max	21 min			
A 36	0,25 0,29	0,80 1,2	0,04 max	0,06 max	0,4 max	0,20 max		250 min	400 min 550 max	20 min			
A570-GR50	0,25	1,35 max	0,035 max	0,04 max				340 min	490 min 550 max	17 min	1=1/2e		

www.dipacmanta.com

Anexo 4

Catálogo Acero AISI 4340



Acero AISI 4340

EQUIVALENCIAS:	
BÖHLER:	V155
IBCA:	705
UDDEHOLM:	---
DIN:	34CrNiMo4
No. Mat.	1.6565

Tipo de aleación:					
C 0.40	Si 0.20	Mn 0.60	Cr 1.00	Mo 0.20	Ni 1.50 %
Estado de suministro: Bonificado 29 – 34 HRC					



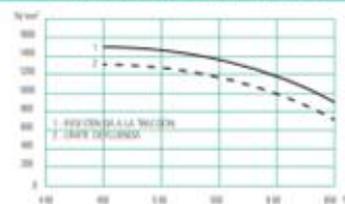
PROPIEDADES – APLICACIONES

Acero bonificado al cromo – níquel – molibdeno de alta resistencia mecánica y tenacidad en estado bonificado. Excelente resistencia a la fatiga y torsión. Resistente a la fragilidad de revenido por su aleación de molibdeno. Alta templabilidad.

Para la fabricación de elementos de maquinaria de grandes secciones altamente exigidos, como son: ejes, piñones, pernos grado 6, rotores, levas, bridas de alta presión, piezas de maquinaria pesada, etc.

TRATAMIENTO TÉRMICO	
Forjado:	1050 – 850°C
Recocido:	650 – 700°C (248 HBI)
Temple:	830-860°C al aceite
Dureza:	54 – 56 HRC
Revenido:	550-600°C

DIAGRAMA DE BONIFICACIÓN



PROPIEDADES MECÁNICAS

Diámetro mm	Límite de fluencia N/mm²	Resistencia a la tracción N/mm²
≤ 16	1000	1200 - 1400
≤ 16 ≤ 40	900	1100 - 1300
≤ 40 ≤ 100	800	1000 - 1200
≤ 100 ≤ 160	700	900 - 1100
≤ 160 ≤ 250	600	800 - 950



Anexo 5

Especificaciones SAE para pernos

418 PARTE TRES Diseño de elementos mecánicos

Tabla 8-9

Especificaciones SAE para pernos de acero

Grado SAE núm.	Intervalo de tamaños, inclusive, pulg.	Resistencia de prueba mínima,* kpsi	Resistencia mínima a la tensión,* kpsi	Resistencia mínima a la fluencia,* kpsi	Material	Marca en la cabeza
1	$\frac{1}{4}$ - $1\frac{1}{2}$	33	60	36	Acero de bajo o medio carbono	
2	$\frac{1}{2}$ - $\frac{3}{4}$	55	74	57	Acero de bajo o medio carbono	
	$\frac{7}{8}$ - $1\frac{1}{2}$	33	60	36		
4	$\frac{1}{2}$ - $1\frac{1}{2}$	65	115	100	Acero de medio carbono, estirado en frío	
5	$\frac{1}{4}$ -1	85	120	92	Acero de medio carbono, T y R	
	$1\frac{1}{8}$ - $1\frac{1}{2}$	74	105	81		
5.2	$\frac{1}{4}$ -1	85	120	92	Acero martensítico de bajo carbono, T y R	
7	$\frac{1}{4}$ - $1\frac{1}{2}$	105	133	115	Acero de aleación de medio carbono, T y R	
8	$\frac{1}{2}$ - $1\frac{1}{2}$	120	150	130	Acero de aleación de medio carbono T y R	
8.2	$\frac{1}{4}$ -1	120	150	130	Acero martensítico de bajo carbono, T y R	

*Las resistencias mínimas son resistencias que excede 99% de los sujetadores.

Las especificaciones ASTM se presentan en la tabla 8-10. Las rosas ASTM son más cortas porque por lo común la ASTM está relacionada con estructuras; por lo general las conexiones estructurales se someten a cortante y la longitud disminuida de la rosca proporciona más área del cuerpo.

Las especificaciones para sujetadores métricos se presentan en la tabla 8-11.

Vale la pena mencionar que todos los pernos con especificación de grado que se fabrican en Estados Unidos llevan, sobre su cabeza, una marca o un logotipo del fabricante, además de la marca de grado, todo lo cual confirma que el perno cumple o excede las especificaciones. Si no se encuentran esas marcas, quizás el perno sea de otro origen; para esa clase de pernos no existe la obligación de cumplir con las especificaciones.

Los pernos que son sometidos a carga axial de fatiga fallan en el filete debajo de la cabeza, en la terminación de la rosca y en la primera rosca acoplada en la tuerca. Si el perno

Dispositivo de sujeción rápida

Los dispositivos de sujeción rápida ofrecen soluciones eficaces cuando se necesita sujetar o posicionar una pieza de trabajo de forma económica y, sobre todo, rápidamente. Los dispositivos de sujeción rápida funcionan según el principio de palanca acodada y se pueden accionar con poco esfuerzo. Un mecanismo de bloqueo o autobloqueante se acciona automáticamente si se sobrepasa la posición en punto muerto (retranqueo de los tres puntos articulados). Los dispositivos de sujeción rápida son una solución óptima para dispositivos de taladrado, soldadura, rectificado, control, etc. En la industria maderera, por ejemplo, al encolar o ensamblar placas frágiles, el uso de dispositivos de sujeción rápida también evita que se produzcan deformaciones extremas, pues la fuerza de sujeción se puede regular.

Principio de palanca acodada



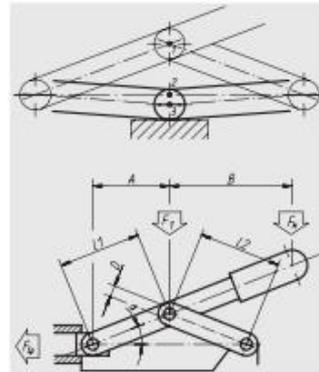
En nuestra vida diaria, a menudo recurrimos al apoyo de una pared cuando queremos desplazar muebles pesados. Si flexionamos las piernas completamente e intentamos desplazar el mueble con la fuerza de las mismas, se requiere un esfuerzo considerable. Sin embargo, si colocamos las piernas en la

posición que se muestra en la imagen superior y ejercemos fuerza desde arriba sobre las rodillas, el desplazamiento resulta mucho más fácil. En cuanto los 3 puntos articulados A, B y C están alineados (piernas estiradas), el

mueble ya no se puede desplazar en sentido contrario ejerciendo fuerza desde el otro lado. Este es el principio que se aplica en los dispositivos de sujeción rápida.

Funcionamiento

1. Posición antes de la sujeción. 2. Posición en punto muerto (puntos articulados alineados). 3. Si se sobrepasa el punto muerto, se garantiza una sujeción totalmente segura (bloqueo automático).



Cálculo de la fuerza de sujeción

Medidas de cálculo

- A: distancia entre ejes (mm)
- B: separación con respecto al punto de aplicación de la fuerza (mm)
- D: diámetro del perno del eje (mm)
- FH: fuerza manual (N)
- F1: fuerza en el punto articulado (N) Fsp: fuerza de sujeción (N)
- L1, L2: longitud del brazo de palanca (mm)
- α : ángulo de inclinación de la palanca (en grados)
- β : ángulo de fricción en las articulaciones (en grados)
- δ : ángulo de fricción de la biela (en grados)
- μ : coeficiente de fricción = 0,1 \Rightarrow δ 5,73°

$$F_{sp} = \frac{F_1}{2} \left[\frac{1}{\tan(\alpha + \beta)} - \tan \delta \right]; F_1 = \frac{F_{sp} \cdot (A + B)}{A}; \beta = \arcsin \left(\frac{2D}{L_1 + L_2} \cdot \mu \right)$$

Con el dispositivo de sujeción rápida se pueden alcanzar grandes fuerzas de sujeción. Sin embargo, no se puede aplicar todo el potencial de fuerza. En su lugar se recomienda respetar las fuerzas de retención F que se indican en el catálogo, con el fin de garantizar una larga vida útil para el dispositivo de sujeción rápida. De este modo, la fuerza de sujeción se debe adaptar a la fuerza de retención ajustando el tornillo de presión.

Anexo 7

Catálogo indura. Electrodo AWS E6011



INDURA 6011 - AWS E-6011

Descripción:

El electrodo 6011 posee un revestimiento de tipo celulósico diseñado para ser usado con corriente alterna, pero también se le puede usar con corriente continua, electrodo positivo. La rápida solidificación del metal depositado facilita la soldadura en posición vertical y sobrecabeza. El arco puede ser dirigido fácilmente en cualquier posición, permitiendo altas velocidades de deposición (soldadura).

Características:

- Electrodo para soldar aceros dulce o al carbono.
- Toda posición
- Corriente continua, electrodo positivo (CCEP)
- Corriente alterna (CA)
- Revestimiento canela (celulósico potásico)
- Punto azul

Usos:

Este electrodo es apto para ser utilizado en todas las aplicaciones de soldadura en acero al carbono.

Aplicaciones Típicas:

- Cordón de raíz en cañería
- Cañerías de oleoductos
- Reparaciones generales
- Estructuras metálicas
- Planchas galvanizadas
- Embarcaciones
- Estanques
- Obras de Construcción

Almacenamiento:

Temperatura ambiente

Mantenimiento:

No Recomendado

Reacondicionamiento:

No Recomendado



COMPOSICION QUIMICA DEL METAL DEPOSITADO	
C	0,11%
Mn	0,41%
Si	0,23%
P	0,010%
S	0,017%

CARACTERISTICAS TIPICAS DEL METAL DEPOSITADO	
Limite de Fluencia	424 Mpa
Resistencia a la Tracción	495 Mpa
Agrietamiento en 50 mm	27%
Energía Absorbida	34 J a -30°C

AMPERAJES RECOMENDADOS										
Cod. SAP	Ref. AWS	Ref. Prov.	Diam. Electrodo		Long. Electrodo		Amperaje		Kg/ Caja	
			pulg	mm	pulg	mm	min	max		
2000093	E 6011	E 6011	3/32	2,4	12	300	50	90	74	25
2000094	E 6011	E 6011	1/8	3,2	14	350	80	120	34	25
2000095	E 6011	E 6011	5/32	4	14	350	110	160	24	25
2000096	E 6011	E 6011	3/16	4,8	14	350	160	220	17	25
1030482	E 6011	E 6011	1/8	3,2	14	350	80	120	34	20
1030483	E 6011	E 6011	5/32	4	14	350	110	160	24	20
2000459	E 6011	E 6011 (1Kg)	1/8	3,2	14	350	80	120		25

CRYOGAS
Grupos INDURA

CETI SERTEC
www.cryogas.com.co

sertec@cryogas.com.co · ceti@cryogas.com.co · Cryolinea 01 8000 514 300

Anexo 8

Proceso de fabricación.



1. Maquinado de placas en fresadora



2. Torneado de elementos cilíndrico



3. Ensamble del bastidor



4. Molde - Coquilla

Anexo 9

Desarrollo de pruebas.



5. Equipo ensamblado



6. Pre calentamiento del molde



7. Colado de material fundido



8. Producto obtenido

Bibliografía

- [1] M. Villegas, «Moldea,» 26 Enero 2010. [En línea]. Available: <http://www.moldea.es/fundicion-por-gravedad/>.
- [2] F. Araba, «Fundiciones Araba,» 2017. [En línea]. Available: <http://www.fundicion-de-aluminio.es/wp-content/uploads/2014/06/fundicion-aluminio-triptico.pdf?169b6c>.
- [3] Tecnología, «Área Tecnología,» 2017. [En línea]. Available: <http://www.areatecnologia.com/que-es-la-neumatica.htm>.
- [4] I. G. Castro, «Departamento de Ingeniería Mecánica F.I.U.B.A.,» Febrero 2009. [En línea]. Available: http://campus.fi.uba.ar/file.php/295/Material_Complementario/Fundiciones.pdf.
- [5] Universidad de Buenos Aires, «Fundición en molde permanente,» 2017. [En línea]. Available: <http://materias.fi.uba.ar/7204/teoricas/Fundicion%20en%20molde%20permanente.pdf>.
- [6] D. ABC, «Definición ABC,» 2017. [En línea]. Available: <https://www.definicionabc.com/general/maquina.php>.
- [7] Lenntech, «Aluminio,» julio 2017. [En línea]. Available: <http://www.lenntech.es/periodica/elementos/al.htm>.
- [8] ConceptoDefinición, marzo 2016. [En línea]. Available: <http://conceptodefinicion.de/metodologia/>.
- [9] U. P. d. Cartagena, «Repositorio UPCT,» julio 2014. [En línea]. Available: <http://repositorio.upct.es/bitstream/handle/10317/4345/pfc5789.pdf;jsessionid=B077E2ADE23C68D0E032A67B61ABF3F5?sequence=1>.
- [10] EcuRed, «Mazarota,» 20 julio 2017. [En línea]. Available: <https://www.ecured.cu/Mazarota>.
- [11] D. d. A. y. Construcción, «Definiciones y traducciones,» julio 2017. [En línea]. Available: <http://www.parro.com.ar/definicion-de-choque+t%E9rmico>.
- [12] Ferro techniek, «Ferro techniek Colombia,» Ferro techniek, 2008. [En línea]. Available: <http://www.ferrotechnikcolombia.com>. [Último acceso: 2018 07]

- 26].
- [13] E. Capello, Tecnología de la fundición, Roma: Gustavo Gili, 2013.
- [14] M. Groover, Fundamentos de manufactura moderna: materiales, procesos y sistemas, México: Pearson Education, 2007.
- [15] W. Arias, Diseño y construcción de un equipo para colado en molde permanente, Quito: Escuela Politécnica Nacional Facultad de Ingeniería Mecánica, 2007.
- [16] H. Appold, K. Feiler, A. Reinhard y P. Schmidt, Tecnología de los metales para profesiones técnico-mecánicas, Barcelona: Reverté, 2005.
- [17] H. Coste, Curso elemental de fundición, vol. VI, Barcelona: Bruguera S.A., 1962.
- [18] S. Kalpakjian y S. R. Schmid, Manufactura, Ingeniería y Tecnología, México: Pearson, 2008.
- [19] C. Castro Lisintuña, «Escuela Politécnica Nacional,» septiembre 2012. [En línea]. Available: <http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/4966/1/CD-4505.pdf>.
- [20] C. D. Castro L., Construcción de un molde metálico con noyo para la fundiciones de aluminio, Quito: Escuela Politécnica Nacional, 2012.
- [21] X. Elias, Reciclaje de residuos industriales, Madrid: Diaz de Santos, 2009.
- [22] GERDAU AZA S.A., Compendio de normas para productos de acero, Santiago: Gerdau AZA, 2000.
- [23] R. L. Mott, Diseño de elementos de máquinas, Cuarta ed., México: Pearson Educación de México, 2006.
- [24] Aceros Bohler, «acerosbohler.com,» 2017. [En línea]. Available: <https://www.acerosbohler.com/es/W320ISODISC.php>. [Último acceso: 05 07 2018].
- [25] Ivan Bohman, «www.ivanbohman.com.ec,» 2016. [En línea]. Available: <http://www.ivanbohman.com.ec/wp-content/uploads/2016/02/705.pdf>. [Último acceso: 05 07 2018].
- [26] Dipac, «www.dipacmanta.com,» 2016. [En línea]. Available: <http://www.dipacmanta.com/ejes/aisi-1018-transmision>. [Último acceso: 05 07

- 2018].
- [27] Ferrocortes, «www.ferrocortes.com,» 2016. [En línea]. Available: <http://www.ferrocortes.com.co/acero-plata/>. [Último acceso: 05 07 2018].
- [28] JG Automotive, «jgautomotive.com,» 2018. [En línea]. Available: <http://jgautomotive.com/portfolio/fundicion-nodular/>. [Último acceso: 05 07 2018].
- [29] Herramental Monterrey S.A., «[Herramental.com](http://www.herramental.com.mx),» Herramental Monterrey S.A., 2007. [En línea]. Available: <http://www.herramental.com.mx/productos/perifericos-para-taller/clamps-sujetadores-de-accion-rapida/>. [Último acceso: 01 07 2018].
- [30] Norelem, «[Norelem.com](http://www.norelem.com),» 2012. [En línea]. Available: https://www.norelem.com/xs_db/DOKUMENT_DB/www/NORELEM/Technische_Hinweise/Schnellspanner/Indicacion-tecnica-para-dispositivo-de-sujecion-rapida_ES.pdf. [Último acceso: 02 07 2018].
- [31] M. Torres, «Mecanismos,» Tenologías por proyectos, 30 abril 2014. [En línea]. Available: https://www.edu.xunta.es/espazoAbalar/sites/espazoAbalar/files/datos/1464947673/contido/53_bielamanivela.html.
- [32] Directorio de proveedores de la república Mexicana, «Proveedores Industriales,» 2016. [En línea]. Available: https://www.dirind.com/dim/monografia.php?cla_id=54.
- [33] E. Bayona, S. López y P. S., «docshare.tips,» 26 Enero 2016. [En línea]. Available: http://docshare.tips/fundicioacuten-en-arena_5913ac2aee3435bf34994d93.html. [Último acceso: 2018].
- [34] Y. Cengel, Transferencia de CAlor y Masa, Tercera edición ed., México: McGraw-Hill / Interamericana, 2007.
- [35] H. León, «Física termodinámica,» 2014. [En línea]. Available: <https://hernanleon1002.wordpress.com/fisica-de-fluidos-y-termodinamica/primer-corte/marco-teorico/principio-de-pascal/>.
- [36] M. Groover, Fundamentos de manufactura moderna: materiales, procesos y sistemas, México: Pearson Education, 1997.
- [37] S. Titov, Tecnología de los procesos de fundición, Moscú: Mir, 1981.
- [38] L. Goyos, Tecnología de la fundición, vol. Tomo II, ISPJAE.

- [39] R. Budynas y K. Nisbett, Diseño en ingeniería mecánica de Shigley, vol. 8va, Mexico D.F.: Mc Graw Hill, 2008.
- [40] HUTTE, Manual del Ingeniero, vol. II, Gustavo Gili S.A., 1938.
- [41] R. A. R. Medina, SISTEMAS DE COSTOS - UN PROCESO PARA SU IMPLEMENTACIÓN, Manizales: Centro de Publicaciones - Universidad Nacional de Colombia, 2007.
- [42] W. G. Sullivan, E. M. Wicks y J. T. Luxhoj, Ingeniería Económica de DeGarmo, México: Pearson Educación, 2004.
- [43] C. M. Roca, Presupuestos para empresas de manufactura, Barranquilla: Uninorte, 2004.
- [44] IESS, «Codigos Sectoriales 2018 - IESS,» 2018. [En línea]. Available: <https://www.iess.gob.ec/documents/10162/11850683/SALARIOS20181.pdf>.
- [45] F. J. Boulanger y C. L. E. Gutiérrez, COSTOS INDUSTRIALES, Cartago - Costa Rica: Tecnológica de Costa Rica, 2007.
- [46] M. B. Valdiviezo, CONTABILIDAD GENERAL, Quito: ESCOBAR, 2011.
- [47] G. Baca Urbina, Evaluación de Proyectos, México D.F.: McGraw-Hill, 2001.
- [48] Intituto Nacional de Estadística y Censos - INEC, «Índice de precios al consumidor (IPC),» 2018. [En línea]. Available: http://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Inflacion/2018/Enero-2018/01%20ipc%20Presentacion_IPC_enero2018.pdf.
- [49] L. A. P. Aguirre, Gestión de proyectos con Project, Excel y Visio, Lima: MACRO EIRL, 2014.
- [50] R. U. Leyton, «GESTIOPOLIS, Cálculo del periodo de recuperación de la inversión o payback,» 18 FEBRERO 2015. [En línea]. Available: <https://www.gestiopolis.com/calculo-del-periodo-de-recuperacion-de-la-inversion-o-payback/#autores>.
- [51] G. Castro, «Fundiciones,» Universidad de Buenos Aires Departamento de Ingeniería Mecánica F.I.U.B.A., Buenos Aires, 2009.
- [52] Tecnología mecánica, «Tecnología mecánica,» 28 07 2017. [En línea]. Available: http://www.sitenordeste.com/mecanica/moldeo_molde_metalico.htm.

- [53] Cordis, «Servicio de desarrollo comunitario sobre investigación y desarrollo,» Comisión Europea, 13 junio 2006. [En línea]. Available: http://cordis.europa.eu/result/rcn/82614_es.html.
- [54] J. Rodríguez, L. Castro y J. Del Real, Procesos industriales para materiales metálicos, Madrid: Vision net, 2006.
- [55] H. Galván, «Instituto Politécnico Nacional,» Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica, julio 2009. [En línea]. Available: <http://tesis.ipn.mx/bitstream/handle/123456789/4570/PROCESOSMOLDEO.pdf?sequence=1>.
- [56] I. L. d. p. Facultad de ingeniería industria, «Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito,» 2008. [En línea]. Available: http://www.escuelaing.edu.co/uploads/laboratorios/9627_fundicion.pdf.
- [57] M. Villegas, «Moldea.es,» EXPLORANDOUNGEN.ORG, 26 01 2010. [En línea]. Available: <https://www.moldea.es/fundicion-por-gravedad/>. [Último acceso: 28 06 2018].
- [58] M. P. Robert L., Diseño de elementos de máquinas, Cuarta ed., México: Pearson, 2006.