

# **ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL**

## **FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA**

### **REDISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE LAS CÁMARAS DE COMPRESIÓN DE UNA BOMBA RECIPROCANTE DE TRIPLE ÉMBOLO.**

#### **TRABAJO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO MECÁNICO**

##### **PROYECTO TÉCNICO**

**ANDERSON EFRÉN INSUASTI GUERRA**

**anderson.insuasti@epn.edu.ec**

**CLEIMER MAURICIO RUIZ RODRÍGUEZ**

**cleimer.ruiz@epn.edu.ec**

**DIRECTOR ING. FAUSTO OVIEDO FIERRO, M.Sc.**

**fausto.oviedo@epn.edu.ec**

**Quito, diciembre 2021**

## **DECLARACIÓN**

Nosotros, Anderson Efrén Insuasti Guerra y Cleimer Mauricio Ruiz Rodríguez, declaramos bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de nuestra autoría; que no ha sido previamente presentado en ningún grado o calificación profesional; y, que hemos consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

La Escuela Politécnica Nacional puede hacer uso de los derechos correspondientes a este trabajo, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normativa institucional vigente.

---

Anderson Efrén Insuasti Guerra

---

Cleimer Mauricio Ruiz Rodríguez

# **CERTIFICACIÓN**

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por Anderson Efrén Insuasti Guerra y Cleimer Mauricio Ruiz Rodríguez, bajo mi supervisión.

---

Ing. Fausto Oviedo Fierro, M.Sc.

**DIRECTOR**

## DEDICATORIA

Al escribir este segmento de la dedicatoria se vienen muchos recuerdos a mi mente, parece que fue ayer cuándo me despedía de mis queridos padres y hermana, me despedía con el corazón lleno de sentimientos, pero sobre todo con muchas ganas de cumplir con el objetivo de ser un profesional, es por ello que este trabajo de titulación lo dedico:

A mi amado padre Efren Insuasti, quien desde chico me ha enseñado que para afrontar la vida hay que ponerle mucho empeño y dedicación, y que a pesar de aquello no siempre vamos a lograr los objetivos planteados, pero marcamos diferencia cuando perseveramos sin importar lo difícil que muchas veces implique intentarlo. Gracias papito por todos sus consejos, consejos que van desde como sembrar una plantita hasta como proponerse emprender en un negocio.

A mi amada madre Marianela Guerra, siempre dulce y luchadora, siempre presente y cariñosa, gracias mamita por su apoyo, gracias por todas sus oraciones en especial en semanas de exámenes, hoy su hijo, su ñaño como a veces me dice, ahora está culminando una etapa importante, una etapa de la cual usted y mi padre han sido autores principales.

A mi amada hermana Yanela Insuasti Guerra, a pesar de que no compartimos mucho, siempre ha estado pendiente de mí, gracias por escucharme en los momentos difíciles y apoyarme cuando lo he necesitado, te quiero mucho ñañita.

Gracias papito, mamita, ñañita por todo el apoyo que me han brindado, gracias por siempre confiar en mí, ustedes han sido el soporte más fuerte en el cual he podido calmar el llanto y disfrutar los triunfos.

*Anderson*

## **DEDICATORIA**

A mi padre, Pedro Ruiz que, con su esfuerzo, dedicación y perseverancia, me ha sabido guiar en mi día a día tanto en mi vida estudiantil como personal, siendo mi fuente de inspiración para que yo siga adelante.

A mi madre, Fany Rodriguez, por su comprensión, apoyo y darme el aliento para que siga adelante con mis objetivos.

A mi abuelita, Piedad Tabango, que me supo educar desde pequeño y por preocuparse siempre por mi bienestar.

*Cleimer*

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco infinitamente a la Escuela Politécnica Nacional por abrirnos las puertas del saber, a todos sus docentes por día a día impartirnos valores y conocimiento, para hacer de nosotros personas integra y útiles a la sociedad.

A la familia Ramon Bedoya, a quienes considero mi segunda familia, gracias por todo el apoyo brindado, considero que ustedes fueron parte fundamental para que yo pueda decidirme por este reto, gracias señora Margarita, Don Jorge, Junior y Jordy.

A la familia Collantes Orbea, gracias por todo el apoyo que han sabido brindarme, me han hecho sentir uno más de los suyos y yo los siento parte de los míos, gracias señora Gladys y Don Efrain por confiar en mí.

Gracias a Paola Collantes, gracias por acompañarme en esta etapa tan importante, gracias por tu entrega conmigo y sobre todo gracias por todo el cariño y apoyo brindado, que Dios nos permita seguir compartiendo muchos logros más juntos.

A todos mis amigos a los cuales considero mi familia de otra sangre, Ronny, Jeff .M, Eduardo, Danny. V, Elsy, con todos ustedes he vivido momentos muy felices y en ciertas ocasiones momentos duros y es ahí donde nunca me han abandonado.

Gracias a la empresa PREINDEC SA, por abrirme las puertas y permitirme ser parte de su grandioso equipo de trabajo.

A todos los amigos que me ha dado el bendito fútbol, gracias por compartir de este lindo deporte, en especial al equipo Real Juventus, en donde he podido conocer a personas de un gran corazón y que siempre me han demostrado su cariño.

A mi compañero Mauricio Ruiz, con quien he compartido bonitos momentos durante el desarrollo de nuestro trabajo de titulación, gracias por tu apoyo y paciencia amigo.

A nuestro director de tesis, Ing. Fausto Oviedo quien nos ha demostrado ser un excelente docente y siempre ha estado presto a brindarnos de su valioso conocimiento.

*Anderson*

## AGRADECIMIENTO

Quiero agradecer principalmente a Dios por brindarme la sabiduría y fortaleza cuando más lo necesitaba durante mi vida estudiantil, siendo mi guía en los momentos más complicados.

A mi papá, Pedro Ruiz por apoyarme siempre con sus consejos y palabras de motivación e inculcarme los valores que hoy me forman como hombre, dedicando su vida a velar por mi bienestar y el de mis hermanos, gracia papi.

A mi familia, a pesar de que no los vea muy seguido me han apoyado con sus consejos para que yo siga adelante, agradezco a mi hermana Taña que me ha sabido escuchar en todo momento.

A Elsi, por brindarme su apoyo incondicional, por permitirme estar a su lado y sobre todo ser mi compañera y confidente. Gracias por ser mi compañera de vida.

A la familia de mi pareja, que en el poco tiempo que he podido compartir con ellos han sabido tratarme como uno más de su familia, gracias Sra Elsita, Erick y Paulina.

A mi segunda familia, la Escuela Politécnica Nacional, a mis compañeros, especialmente a mis amigos Jefferson M, Jefferson C, Ronny, José P, Diego B, Xavier, LOS MAMADITOS y Jefferson Andrango que estuvo conmigo en las buenas y las malas como un hermano.

A mi compañero y amigo de tesis Anderson, por su dedicación y apoyo para culminar el trabajo de titulación, además de todas las experiencias compartidas en este proceso.

Agradecer a los profesores de la Escuela Politécnica Nacional, especialmente a nuestro director de Tesis, Ing. Fausto Oviedo, por ser un excelente profesor y sobre todo una excelente persona, por guiarnos y solventar nuestras dudas en el trabajo de titulación.

*Cleimer*

# ÍNDICE GENERAL

DECLARACIÓN.....	I
CERTIFICACIÓN.....	II
DEDICATORIA .....	III
AGRADECIMIENTO .....	V
ÍNDICE GENERAL.....	VII
ÍNDICE FIGURAS .....	X
ÍNDICE ESQUEMAS.....	XII
ÍNDICE TABLAS .....	XII
RESUMEN.....	XIII
ABSTRACT .....	XIV
<b>CAPÍTULO I.....</b>	<b>- 1 -</b>
1. INTRODUCCIÓN .....	- 1 -
1.1. OBJETIVO GENERAL .....	- 3 -
1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	- 3 -
<b>CAPÍTULO II.....</b>	<b>- 4 -</b>
2. MARCO TEÓRICO .....	- 4 -
2.1. ESTUDIOS ANTERIORES.....	- 4 -
2.2. IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA .....	- 4 -
2.2.1. Estado Actual .....	- 6 -
2.3. GENERALIDADES DE LAS BOMBAS.....	- 6 -
2.3.1. Definición de bomba .....	- 6 -
2.3.2. Clasificación de bombas hidráulicas .....	- 6 -
2.3.3. Clasificación de las bombas hidrostáticas .....	- 7 -
a) Bombas Reciprocantes .....	- 7 -
b) Bombas Rotativas.....	- 8 -
c) Bombas tríplex .....	- 9 -
2.3.4. Componentes.....	- 10 -
a) Power end (PWE).....	- 10 -
b) Fluid end (FLE).....	- 10 -
2.3.5. Aplicaciones .....	- 11 -
a) Servicios de perforación.....	- 11 -
b) Servicios de estimulación.....	- 12 -
c) Servicio de cementación.....	- 12 -
d) Servicios de fracturamiento.....	- 12 -
2.4. CÁMARA DE PRESIÓN.....	- 13 -
2.4.1. Principio de funcionamiento .....	- 13 -
2.4.2. Métodos de fabricación .....	- 14 -



2.5.	<i>EL ALUMINIO</i> .....	- 15 -
2.5.1.	Propiedades del aluminio .....	- 15 -
a)	Características físicas: .....	- 15 -
b)	Características mecánicas: .....	- 15 -
c)	Características químicas: .....	- 15 -
2.5.2.	Producción del aluminio .....	- 16 -
2.6.	<i>ALEACIONES DE ALUMINIO</i> .....	- 16 -
2.6.1.	Tipo de aleaciones de aluminio .....	- 17 -
a)	Aleaciones de aluminio deformables .....	- 17 -
b)	Aleaciones de fundición .....	- 18 -
2.6.2.	Aplicaciones de las aleaciones de aluminio .....	- 19 -
a)	Aluminio-Cobre .....	- 19 -
b)	Aleaciones de aluminio-silicio-cobre/magnesio .....	- 20 -
c)	Aleaciones aluminio-silicio .....	- 20 -
d)	Aleaciones aluminio-magnesio .....	- 20 -
e)	Aleaciones de aluminio-zinc .....	- 20 -
2.7.	<i>FUNDICIÓN</i> .....	- 21 -
2.7.1.	Métodos de fundición .....	- 21 -
I.	Molde Permanente .....	- 22 -
II.	Molde Desechable .....	- 22 -
i.	Fundición en arena .....	- 23 -
ii.	Moldeo en cascara .....	- 24 -
iii.	Moldeo en yeso .....	- 24 -
iv.	Moldeo en vacío .....	- 25 -
v.	Moldeo con espuma perdida .....	- 26 -
vi.	Moldeo con cera perdida .....	- 26 -
2.7.2.	Noyos o Machos .....	- 27 -
I.	Fabricación de Noyos .....	- 27 -
<b>CAPÍTULO III</b> .....		<b>- 29 -</b>
3.	<b>METODOLOGÍA</b> .....	- 29 -
3.1.	<i>SELECCIÓN DE LA ALEACIÓN DE ALUMINIO</i> .....	- 29 -
3.2.	<i>REDISEÑO DE LAS CÁMARAS DE COMPRESIÓN</i> .....	- 32 -
3.3.	<i>PROCESO DE FUNDICIÓN</i> .....	- 33 -
3.3.1.	Modelo .....	- 35 -
3.3.2.	Noyos .....	- 35 -
3.3.3.	Sistema de alimentación .....	- 37 -
a)	Bebedero .....	- 38 -
b)	Taza de colado .....	- 39 -
c)	Pozo de colado .....	- 40 -
d)	Alimentador .....	- 40 -
e)	Tiempo de llenado .....	- 41 -
f)	Altura efectiva de colado .....	- 41 -
g)	Velocidad de vertido .....	- 41 -
3.3.4.	Diseño del sistema de alimentación .....	- 42 -
3.3.5.	Dimensionamiento de la caja de moldeo .....	- 42 -
3.3.6.	Preparación de la arena de moldeo .....	- 44 -
3.3.7.	Moldeo .....	- 44 -

3.3.8. Colada .....	- 49 -
3.3.9. Colado .....	- 50 -
3.3.10. Desmoldeo.....	- 50 -
3.4. <i>MECANIZADO DE LAS CÁMARAS DE PRESIÓN.</i> .....	- 52 -
3.4.1. Torno CNC DMTG CKE 6136Z.....	- 56 -
3.4.2. Centro de mecanizado vertical DMTG VDL – 1000 .....	- 57 -
3.4.3. Cortadora de Sierra Cinta OPTIMUM S 275 NV 230 V. ....	- 58 -
3.4.4. Soldadora INVERTER MIG-MAG SYNSTAR 200 M SYNERGY-PULSE....	- 58 -
3.5. <i>MANTENIMIENTO DE LOS COMPONENTES.</i> .....	- 59 -
3.5.1. Limpieza del cigüeñal: .....	- 59 -
3.5.2. Limpieza de pistones y accesorios. ....	- 60 -
3.5.3. Limpieza del Block .....	- 61 -
3.5.4. Rectificación de cabezote.....	- 62 -
<b>CAPÍTULO IV .....</b>	<b>- 63 -</b>
4. RESULTADOS.....	- 63 -
4.1. <i>ANALISIS DE RESULTADOS</i> .....	- 63 -
4.1.1. Obtención de las cámaras mediante el proceso de fundición. ....	- 63 -
4.1.2. Rediseño de las cámaras.....	- 63 -
4.1.3. Pruebas de funcionamiento. ....	- 64 -
4.2. <i>ANALISIS DE FUNCIONAMIENTO</i> .....	- 66 -
<b>CAPÍTULO V.....</b>	<b>- 67 -</b>
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	- 67 -
5.1. CONCLUSIONES .....	- 67 -
5.2. RECOMENDACIONES .....	- 68 -
<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>- 69 -</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>- 72 -</b>
ANEXO 1: ENSAYO DE ESPECTROMETRÍA POR CHISPA .....	- 73 -
ANEXO 2: ELABORACIÓN DE LOS NOYOS PARA LAS CÁMARAS DE PRESIÓN. ....	- 74 -
ANEXO 3: CALCULO DEL SISTEMA DE ALIMENTACIÓN .....	- 77 -
ANEXO 4: ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE LA ARENA DE MOLDEO .....	- 84 -
ANEXO 5: ELABORACIÓN DE LOS MOLDES DE ARENA PARA LAS CÁMARAS DE PRESIÓN..	- 86 -
ANEXO 6: PREPARACIÓN DE LA COLADA PARA LAS CÁMARAS DE PRESIÓN. ....	- 91 -
ANEXO 7: PROCESO DE COLADO PARA LAS CÁMARAS DE PRESIÓN. ....	- 94 -
ANEXO 8: FICHA TÉCNICA DEL MECANIZADO (PONER BIEN EL TÍTULO).....	- 97 -
ANEXO 9: CARACTERÍSTICAS DE LOS EQUIPOS EMPLEADOS EN EL MECANIZADO Y ENSAMBLE DE LA BOMBA. ....	- 103 -

## ÍNDICE FIGURAS

Figura 1. Cámaras de compresión con sellador. [Fuente propia] .....	- 4 -
Figura 2 Discontinuidades en la superficie. [Fuente propia].....	- 5 -
Figura 3. Esquema de funcionamiento de bomba Hidrodinámica. [6].....	7
Figura 4. Esquema funcional de una bomba hidrostática. [7] .....	7
Figura 5. Desplazamiento del pistón para una bomba reciprocante [8]. .....	- 8 -
Figura 6. Bomba Rotatoria. [9] .....	- 9 -
Figura 7. Bomba triplex. [1].....	- 9 -
Figura 8. Componentes del Power end [1]......	- 10 -
Figura 9. Fluid end. [1] .....	- 10 -
Figura 10. Comportamiento del fluido a través del Fluid end. [1] .....	- 11 -
Figura 11. Sistema de circulación de lodos [10]. .....	- 11 -
Figura 12. Bomba tríplex de estimulación. [1].....	- 12 -
Figura 13. Fracturamiento Hidráulico. [11] .....	- 13 -
Figura 14. Cámara de compresión. [12].....	- 13 -
Figura 15. Ingreso del fluido en la cámara de compresión. [12].....	- 14 -
Figura 16. Salida del fluido a mayor presión de la que ingreso. [12].....	- 14 -
Figura 17. Moldes para obtener piezas fundidas. [13] .....	- 14 -
Figura 18. Tanque Cuba empleada para la producción de aluminio [19]. .....	- 16 -
Figura 19. Elementos fabricados con aleaciones de aluminio. [23] .....	- 19 -
Figura 20. Pistón de aleación Aluminio Silicio [24] .....	- 20 -
Figura 21. Acero cubierto con aleaciones de Aluminio-Zinc [22].....	- 21 -
Figura 22. fundición de Aluminio [25] .....	- 21 -
Figura 23. Principales componentes de un molde de arena [33].....	- 23 -
Figura 24. Moldeo en cascara. [31].....	- 24 -
Figura 25. Molde de Yeso. [25] .....	- 25 -
Figura 26. Proceso de Fundición al vacío. [31].....	- 25 -
Figura 27. Proceso de fundición con espuma perdida [33]. .....	- 26 -
Figura 28. Proceso de fundición con cera perdida [33].....	- 27 -
Figura 29. Pistones de camión marca ISUZU. [Fuente propia] .....	- 30 -
Figura 30. Tochos de aluminio al silicio obtenidos en el laboratorio. [Fuente propia].....	- 32 -
Figura 31. Diseño 3D de válvula anterior. [Fuente propia].....	- 32 -
Figura 32. a) Válvulas de descarga ancladas a la superficie de la Cámara, b) Cámara en 3D con el nuevo diseño. [Fuente propia] .....	- 33 -
Figura 33. Modelos de las cámaras de compresión. [Fuente propia] .....	- 35 -
Figura 34. Molde de machos. [Fuente Propia] .....	- 35 -
Figura 35. Noyo obtenido del molde de machos. [Fuente propia] .....	- 36 -
Figura 36. Pieza para fundir. [Fuente propia] .....	- 38 -
Figura 37. Dimensionamiento de la taza de colado [43]. .....	- 39 -
Figura 38. Dimensiones del pozo [43]. .....	- 40 -
Figura 39. Altura efectiva de colado [43]. .....	- 41 -
Figura 40. Modelado de la pieza a fundir con el sistema de alimentación. [Fuente propia] ...	- 42 -
Figura 41. Caja de moldeo [Fuente propia].....	- 44 -
Figura 42. Modelo en la caja de moldeo. [Fuente propia].....	- 45 -
Figura 43. Relleno de la caja de moldeo. [Fuente propia].....	- 45 -
Figura 44. Arena de moldeo al nivel de la caja. [Fuente propia] .....	- 46 -

Figura 45. Caja al otro extremo con la otra sección del modelo y arena sílice. [Fuente propia] ...	-
46 -	
Figura 46. Molde completo y sin exceso de arena en la caja macho. [Fuente propia] .....	- 47 -
Figura 47. Limpieza del molde, luego de extraer el modelo. [Fuente propia] .....	- 47 -
Figura 48. Modelo con su sistema de alimentación. [Fuente propia] .....	- 48 -
Figura 49. Secado del molde a través de un soplete a gas. [Fuente propia] .....	- 48 -
Figura 50. Modelo terminado. [Fuente propia] .....	- 49 -
Figura 51. Fundición de los pistones. [Fuente propia] .....	- 49 -
Figura 52. Colado del material en los moldes de arena. [Fuente propia] .....	- 50 -
Figura 53. Cámaras de compresión extraídos del molde de arena. [Fuente propia] .....	- 51 -
Figura 54. Extracción del noyo. [Fuente propia] .....	- 51 -
Figura 55. Cámara de compresión fundida. [Fuente propia] .....	- 52 -
Figura 56. Extracción de bebederos y sistema de alimentación. [Fuente propia] .....	- 53 -
Figura 57. Cilindrado interior. [Fuente propia] .....	- 53 -
Figura 58. Cilindrado exterior de la base y acometidas de succión y descarga. [Fuente propia] ...	- 54 -
Figura 59. Planeado de las caras planas de las cámaras. [Fuente propia] .....	- 54 -
Figura 60. Caras de descarga planeadas. [Fuente propia] .....	- 55 -
Figura 61. Perforado de las cámaras de compresión. [Fuente propia] .....	- 55 -
Figura 62. Torno CNC DMTG 6136Z. [Fuente propia] .....	- 56 -
Figura 63. Centro de mecanizado DMTG VDL-1000. [Fuente propia] .....	- 57 -
Figura 64. Corte del sistema de alimentación de la cámara de compresión. [Fuente propia] ..	- 58 -
Figura 65. Tubería de descarga desoldada. [Fuente Propia] .....	- 58 -
Figura 66. Desmontaje del block de la bomba. [Fuente propia] .....	- 59 -
Figura 67. Cigüeñal con óxido por falta de lubricación. [Fuente propia] .....	- 60 -
Figura 68. Limpieza de cigüeñal con gasolina. [Fuente propia] .....	- 60 -
Figura 69. Pistones desarmados y limpios. [Fuente propia] .....	- 61 -
Figura 70. Limpieza superficial utilizando pulidora. [Fuente propia] .....	- 61 -
Figura 71. Block terminado. [Fuente propia] .....	- 61 -
Figura 72. Rectificación de las perforaciones que se unen con el block. [Fuente Propia] .....	- 62 -
Figura 73. Bomba tríplice ensamblada. [Fuente propia] .....	- 64 -
Figura 74. Montaje de la bomba en el torno con ayuda de un teclé. [Fuente Propia] .....	- 65 -
Figura 75. Bomba montada en el torno. [Fuente propia] .....	- 65 -
Figura 76. Prueba de funcionamiento a 160 RPM. [Fuente propia] .....	- 66 -

## ÍNDICE ESQUEMAS

Esquema 1. Proceso de Fundición [Fuente Propia].....	- 34 -
--	--------

## ÍNDICE TABLAS

Tabla 1. Clasificación de las aleaciones deformables y características. [21] .....	- 18 -
Tabla 2. Aleación de aluminio vs aleaciones de bronce [37]. .....	- 29 -
Tabla 3. Sistema de designación aleaciones de aluminio por moldeo [38]. .....	- 31 -
Tabla 4. Composición química Silafont-70 en % de masa. [39] .....	- 31 -
Tabla 5. Composición química de los pistones fundidos [40].....	- 32 -
Tabla 6. Porcentajes para la fabricación de resinas.[41] .....	- 36 -
Tabla 7. Volumen y Área de la cámara [Fuente propia] .....	- 38 -
Tabla 8. Dimensiones correspondientes al bebedero. [Fuente propia].....	- 39 -
Tabla 9. Dimensiones de la tasa de colado. [Fuente propia] .....	- 40 -
Tabla 10. Dimensiones del pozo de colado. [Fuente propia] .....	- 40 -
Tabla 11. Dimensión del alimentador. [Fuente propia].....	- 40 -
Tabla 12. Tiempo de llenado. [Fuente propia] .....	- 41 -
Tabla 13. Altura efectiva de colado del bebedero. [Fuente propia] .....	- 41 -
Tabla 14. Velocidad de vertido. [Fuente propia].....	- 42 -
Tabla 15. Dimensionamiento de la caja de moldeo. [43].....	- 43 -
Tabla 16. Dimensiones de la caja de moldeo. [Fuente propia] .....	- 43 -
Tabla 17. Especificaciones del torno CNC DMTG 6136Z. ....	- 56 -
Tabla 18. Especificaciones del centro de mecanizado DMTG VDL - 1000. ....	- 57 -
Tabla 19. Presión de bombeo a distintas RPM. [Fuente propia] .....	- 65 -

## RESUMEN

El presente trabajo de titulación tiene como objetivo principal el rediseño y construcción de las cámaras de compresión de una bomba recíproca de triple émbolo. La realización de este trabajo comprende tres etapas importantes que son: fabricación de las cámaras mediante la técnica de fundición en arena verde utilizando el modelo de trabajos de titulación anteriores, rediseño de las acometidas de ingreso y salida de agua, y, por último, la realización de pruebas de funcionamiento de la Bomba en su conjunto en un torno horizontal.

Para la fabricación de las cámaras se optó por cambiar la aleación de bronce al aluminio, por la aleación de aluminio al silicio, debido a las múltiples ventajas que otorga esta aleación, como, por ejemplo: bajo costo, disponibilidad, bajo punto de fusión y la relación de masa/volumen que posee el material.

El rediseño de las cámaras se lo realizó en dos etapas, se inició con el modelado CAD, para luego proceder al mecanizado en el torno y centro de mecanizado CNC, obteniendo así las cámaras rediseñadas sin presencia de discontinuidades.

Finalmente, una vez fundidas y mecanizadas las cámaras, se procedió a realizar las pruebas de funcionamiento en el torno CNC incrementando las RPM progresivamente, aquí se pudo obtener una presión máxima de bombeo de 160 PSI a 140 RPM, siendo este un resultado positivo ya que las cámaras no presentaron averías y superaron la presión de bombeo de 100 PSI a 122RPM que se obtuvieron en anteriores trabajos de titulación.

### **Palabras claves:**

Bombas de triple émbolo, fundición, aleación de aluminio al silicio, cámara de presión.

## **ABSTRACT**

The main objective of this degree work is the redesign and construction of the compression chambers of a triplex reciprocating pump. The realization of this work comprises three important stages: manufacturing of the chambers using the green sand-casting technique, redesign of the water inlet and outlet connections, and finally, the performance tests of the pump on a horizontal lathe.

For the manufacture of the chambers, it was decided to change the aluminum bronze alloy for aluminum silicon alloy, due to the multiple advantages of this alloy, such as: low cost, availability, low melting point and the mass/volume ratio of the material.

The redesign of the chambers was carried out in two stages, starting with CAD modeling, and then proceeding to machining on the lathe and CNC milling machine, thus obtaining the redesigned chambers, which didn't present any discontinuity.

Finally, once the chambers were cast and machined, we proceeded to perform the operation tests on the CNC lathe increasing the RPM progressively, here we were able to obtain a maximum pumping pressure of 160 PSI at 140 RPM, being this a positive result since the chambers did not present failures and surpassed the pumping pressure of 100 PSI at 122 RPM obtained in previous tests of the previous degree work.

**Keywords:**

Triplex plunger pumps, cast iron, silicon aluminum alloy, pressure chamber.

# CAPÍTULO I

## 1. INTRODUCCIÓN

En el Ecuador el petróleo constituye la fuente energética de mayor producción. Durante el periodo del 2010-2020 la producción anual ha mantenido una media de 190 millones de barriles [1]. El proceso de extracción implica el uso de diversos equipos para la obtención de crudo, estos pueden ser; mecánicos, hidráulicos, neumáticos, entre otros. Las bombas tríplex son equipos mecánicos-hidráulicos utilizados para realizar actividades de mantenimiento, limpieza, reactivación de pozos petroleros, estos equipos son obtenidos únicamente por exportación implicando altos costos y mayor tiempo de adquisición.

En anteriores trabajos de titulación se fabricó una bomba tríplex, pero esta presentó problemas de fabricación en las cámaras de presión, estos problemas estaban ligados con el proceso de fundición y diseño, se dice que fueron de fundición ya que presentaron defectos tales como, porosidades, agrietamientos entre otros y de diseño debido a las fugas en los acoples de succión y descarga.

Conociendo los antecedentes mencionados, el presente trabajo de titulación tiene como motivación el incentivar la producción nacional de bombas tríplex, es por ello que en este trabajo se pretende rediseñar las cámaras de presión, sustituyendo la aleación de cobre con las que en un principio fueron fabricadas, por aleación de aluminio y a su vez realizar cambios en la geometría de las mismas con la finalidad de lograr incrementar la capacidad de operación de la bomba eliminando los defectos y fugas.

La fabricación de las cámaras se realizará únicamente con la fundición de pistones de aluminio de automotores, con la finalidad de que la colada sea homogénea, para luego realizar un análisis de espectrometría por chipa, este análisis nos permitirá conocer la composición química de la colada y así poder determinar el tipo de aleación mediante tablas.

Para el proceso de fabricación por fundición se detallará todos los procedimientos utilizados para la obtención de las cámaras, esto comprende desde la fundición del material hasta el desmoldeo. El modelo utilizado para la fabricación será el mismo con el que se fabricaron las cámaras en aleación de cobre debido a temas de costos y disponibilidad. Obtenidas las cámaras se realizarán las actividades de mecanizado que estas requieren para posteriormente poder ser ensambladas en el cuerpo de la bomba.

Se realizará el mantenimiento de todos los componentes de la bomba, se aplicarán mantenimientos preventivos tales como lubricación, limpieza, lavado y también mantenimientos correctivos como el rectificado del block, cambio de elementos que se encuentren deteriorados,



todo esto con la finalidad de realizar un ensamble correcto para que el equipo logre cumplir con las expectativas deseadas.

Por último, se realizarán las pruebas de funcionamiento con la ayuda de un torno, se conectará el mandril y la punta del torno a los extremos del cigüeñal de la bomba, de manera progresiva se irán incrementando las RPM del torno para accionar al cigüeñal y este se encargue de transmitir el movimiento al mecanismo biela manivela de la bomba, para que al final el movimiento del pistón permita comprimir el fluido de trabajo (agua). Se espera que con todos los cambios realizados se logre obtener una presión de bombeo máxima superior a la de trabajos de titulación anteriores.

## **1.1. OBJETIVO GENERAL**

Rediseñar y construir las cámaras de compresión de una bomba reciprocante de triple embolo, utilizando aleación de aluminio como material de fabricación y cambiando la geometría de los acoples de entrada y salida de la cámara, con la finalidad de superar la presión de descarga obtenida en anteriores proyectos de titulación.

## **1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Cambiar el material de fabricación de las cámaras de compresión de una bomba reciprocante, sustituyendo la aleación de cobre por aleación de aluminio.
- Rediseñar la geometría de las cámaras de compresión de una bomba reciprocante, empleando el software SolidWorks, con la finalidad de mejorar los acoples de las cámaras con el cuerpo de la bomba.
- Realizar el mantenimiento de todos los componentes que conforman la bomba reciprocante, mediante acciones correctivas como el rectificado, sustitución de empaques, así también acciones preventivas como cambio de aceite, engrasado, limpieza y otros, previo a su ensamble.
- Realizar pruebas de funcionamiento de la bomba reciprocante, utilizando un torno como elemento de accionamiento, para luego comparar los resultados de este trabajo con los obtenidos en estudios anteriores.

## CAPÍTULO II

### 2. MARCO TEÓRICO

#### 2.1. ESTUDIOS ANTERIORES

En estudios anteriores se realizó la construcción y análisis del funcionamiento de una bomba recíprocante de triple émbolo, en dichos estudios se fabricaron todos los componentes de la bomba, es decir, que la fabricación del equipo se dio desde la selección de los materiales, diseño de componentes, procesos de manufactura, mecanizado e incluso se realizó pruebas de funcionamiento.

Al realizar las pruebas de funcionamiento, la capacidad funcional obtenida de la bomba fue de 100 psi a 122 [rpm] pero, se menciona que para obtener esta presión de trabajo se realizaron varias correcciones en algunos componentes del equipo, siendo el más crítico el desempeño de las cámaras de compresión, estas cámaras presentaron varias fugas las cuales se corrigieron aplicando un sellador que se observa en la figura 1.



*Figura 1. Cámaras de compresión con sellador. [Fuente propia]*

#### 2.2. IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA

El objetivo principal de las bombas es transformar la energía mecánica en energía hidráulica de la manera más eficiente [1]. En la actualidad, existe una gran variedad de tipos de bombas [2], para este estudio se tomarán en cuenta las bombas recíprocantes de triple émbolo debido a su importancia en el sector industrial, estas bombas son elementos mecánicos de desplazamiento

positivo [1], poseen tres pistones, de esta forma dichos pistones permiten que el fluido reciba la energía ocasionada por su desplazamiento [2].

Por este motivo, estas bombas son idóneas en el sector petrolero teniendo varias aplicaciones, tales como: compresión de gas a plantas, recolección de crudo y gas, inyección de agua a pozos, entre otros [3]. Debido a que en el Ecuador se realizan varios trabajos en la industria petrolera, donde se desarrollan actividades de las aplicaciones anteriormente mencionadas, hace que el estudio de estas bombas sea de importancia para incentivar la producción y construcción de estos equipos en el país, permitiendo reducir costos y tiempos de adquisición.

En los estudios anteriores, se realizó la construcción y análisis del funcionamiento de una bomba reciprocante de triple émbolo [4], la cual presentó fugas de presión en las cámaras de compresión [4]. Dichas fugas se debieron a varias discontinuidades en el material tales como porosidades, rechupes, rebabas, entre otros como se observa en la figura 2 [4]. Además, otra de las causas de fuga de presión se produjo en la unión entre la entrada y salida de las cámaras con el cuerpo de la bomba, debido a un diseño inadecuado en sus puntos de unión.



*Figura 2 Discontinuidades en la superficie. [Fuente propia]*

Según Loizaga [3], cuando se elaboran piezas de aplicaciones críticas mediante la técnica de fundición, estas no deben poseer ningún tipo de porosidad en el material conformado, ya que este tipo de discontinuidades son las causantes del mal funcionamiento del elemento, debido a la influencia directa sobre las propiedades físicas y mecánicas del material. Estas discontinuidades al estar ubicadas en zonas específicas del material y con presencia de esfuerzos mecánicos, actúan como punto de inicialización de varios defectos como los agrietamientos, los mismos que ocasionan la rotura de la pieza en funcionamiento o la falla por fatiga.

### ***2.2.1. Estado Actual***

Para conocer el estado actual en el que se encuentra equipo, se realizó una inspección visual, esta inspección se dio lugar en el laboratorio de fundición ubicado en la Escuela Politécnica Nacional, en esta visita se confirmaron las discontinuidades mencionadas anteriormente, estas fueron: porosidades y rechupes, también se encontró a la bomba en su conjunto, la cual fue diseñada ya fabricada por Claudio Lenin, esta estaba conformada por: cañerías de ingreso y salida de agua, block, separador, cámaras de bronce, manómetro y una válvula de compuerta [5], los cuales en su mayoría se encontraban en buenas condiciones físicas.

Se determinó que la principal causa de falla de la bomba fueron las porosidades presentes en las cámaras de compresión [5], debido a que, estas porosidades habían atravesado el cuerpo de la cámara.

También se pudo evidenciar que los puntos de acople de las cámaras de compresión con el cuerpo de la bomba presentaban exceso de silicón gris (industrial), por lo que se puede decir que por estas zonas también existían fugas de presión.

## **2.3. GENERALIDADES DE LAS BOMBAS**

### ***2.3.1. Definición de bomba***

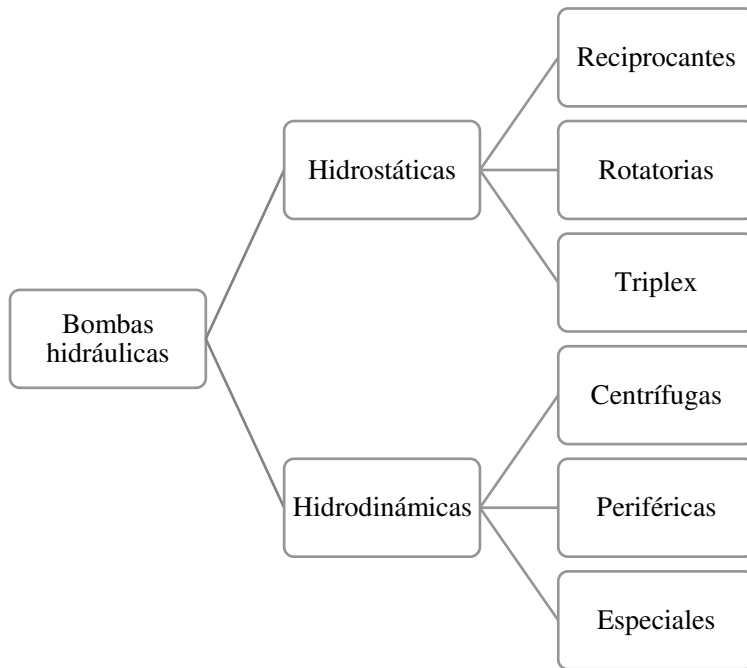
Las bombas son elementos que se caracterizan por transformar la energía, en el proceso de transformación reciben energía mecánica, la misma que puede ser suministrada por un motor eléctrico, térmico, entre otros, para luego convertirla en energía canalizada directamente al fluido (energía hidráulica), esto permite que el fluido obtenga mayor presión y velocidad. [5]

El principio de funcionamiento de las bombas se caracteriza en dos fases generales:

- Aspiración: comprende en el proceso de succión originado por los elementos mecánicos, en este proceso se genera una caída de presión en la entrada de la bomba y debido a que el fluido se encuentra a presión atmosférica se origina el impulso hidráulico hacia la entrada de la bomba [5].
- Descarga: una vez realizada la aspiración, el mismo elemento mecánico mediante su rotación, desplazamiento y compresión otorga energía al fluido, el mismo que es dirigido a la salida de la bomba, permitiendo así la descarga [5].

### ***2.3.2. Clasificación de bombas hidráulicas***

Las bombas hidráulicas se encuentran clasificadas como se muestra en la gráfica 1:



Gráfica 1. Clasificación de bombas.[5]

Se dice que una bomba es hidrodinámica cuando no dispone de sistemas de estanqueidad entre la salida y entrada de la bomba. Mientras que las bombas hidrostáticas son aquellas que poseen o tienen puntos de estanqueidad, como se ilustra en la figura 3 y 4.

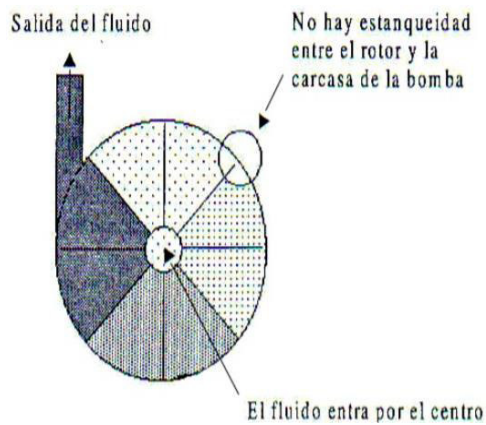


Figura 3. Esquema de funcionamiento de bomba Hidrodinámica. [6]

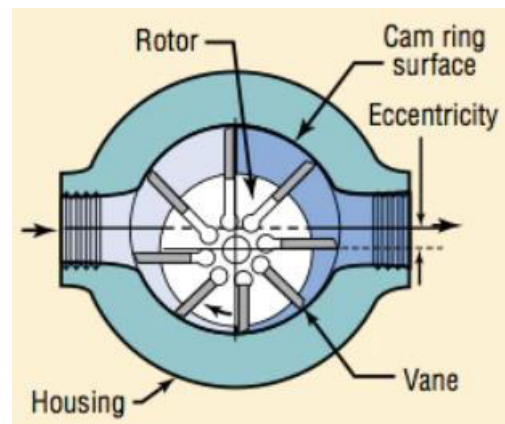


Figura 4. Esquema funcional de una bomba hidrostática. [7]

### 2.3.3. Clasificación de las bombas hidrostáticas

#### a) Bombas Reciprocantes

Las bombas reciprocantes se las conoce también como unidades de desplazamiento positivo que permite descargar una cantidad definida de fluido con el uso de pistón o émbolo que recorre una distancia llamada carrera. La cantidad de fluido desplazado por el pistón depende del área y la

carrera, al realizar su producto se obtiene la cantidad de fluido desplazado, también se debe considerar las pérdidas ocasionadas por fugas. El trabajo que desempeña el émbolo se puede ilustrar en la figura 5, donde indica el bombeo al ingreso y descarga del fluido [8].

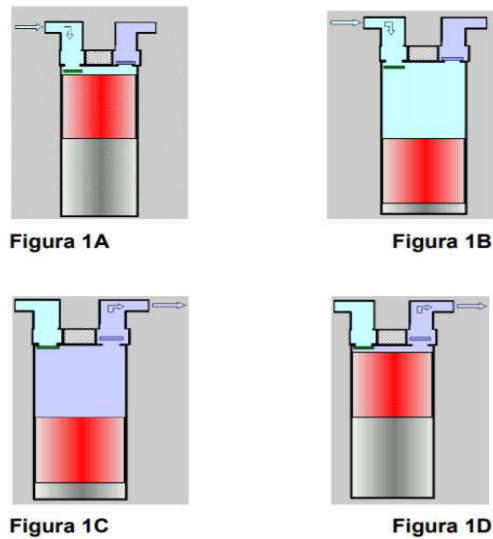


Figura 5. Desplazamiento del pistón para una bomba recíproca [8].

El funcionamiento empieza cuando el fluido es aspirado por el pistón y este desciende, permitiendo que la válvula de admisión se abra y la válvula de descarga se cierre, esto permite que el fluido ingrese en la cámara. Después el émbolo se desplaza hacia arriba provocando que la válvula de admisión se cierre y la válvula de descarga se abra, en consecuencia, se tiene la descarga del fluido a elevadas presiones [8].

Las bombas recíprocas constan de los siguientes elementos:

- El cuerpo de la bomba o block.
- Cilindro o embolo.
- Válvulas de admisión.
- Válvulas de escape.
- Cámara de aire en el lado de la descarga.
- Cámara de vacío en el lado de succión.

b) Bombas Rotativas

Las bombas rotativas son equipos de desplazamiento positivo, presenta una forma de caja fija en el cual contiene engranes o aspas, en donde rotan. Este tipo de dispositivos atrapan al líquido en volúmenes reducidos contra la caja fija, durante su rotación el fluido se desplaza hacia la salida del dispositivo. Para este tipo de bombas su descarga es de forma uniforme, debido a que su movimiento se realiza de forma continua y rápida [9]. Dicho funcionamiento de muestra en la figura 6.

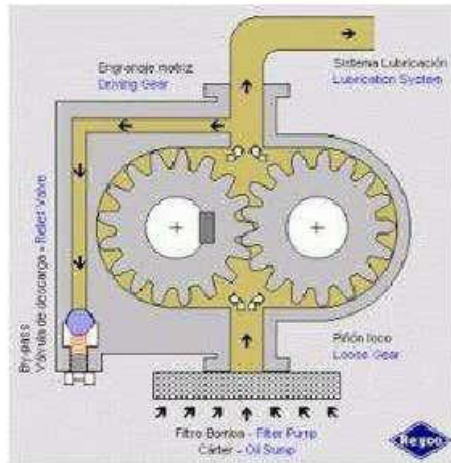


Figura 6. Bomba Rotatoria. [9]

Para su funcionamiento del dispositivo el fluido es succionado al interior de la bomba por los elementos rotatorios que generan una disminución de presión al ingreso, cuando el fluido se encuentra en el interior los elementos internos direccionan al fluido hacia la salida o zona de descarga, donde el fluido eleva su presión al ser descargado.

c) Bombas tríplex

Las bombas tríplex son máquinas de suma importancia en la industria, tienen varias aplicaciones, pero existe una en especial, esta es el mantenimiento de pozos petroleros, esta actividad comprende el bombeo de múltiples fluidos tales como: agua, ácidos, químicos, crudo y cemento en forma de solución [1].

Estas bombas son de desplazamiento positivo y poseen tres pistones los cuales trabajan con su correspondiente cámara de presión, es aquí donde se le otorga energía al fluido, en cada cámara existen dos válvulas, una de succión y otra de descarga [1]. Véase la figura 7.



Figura 7. Bomba triplex. [1]



### 2.3.4. Componentes

Las bombas tríplex se dividen en dos secciones que son:

- Power end
- Fluid end

#### a) Power end (PWE)

Esta sección de la bomba transforma la energía de rotación en movimiento rotativo, esta energía es generada por un motor de combustión interna o eléctrico. El principio de funcionamiento del Power End es similar al funcionamiento del cigüeñal de un motor de combustión interna, esto se debe a que el eje del piñón mueve al cigüeñal con los engranes principales. La presencia de las excentricidades en el cigüeñal permite la transformación de movimiento de rotación a movimiento alternativo, el mismo que acciona a las bielas y crucetas permitiendo desplazar a los pistones que están posicionados en el Fluid End [1]. Véase la figura 8.

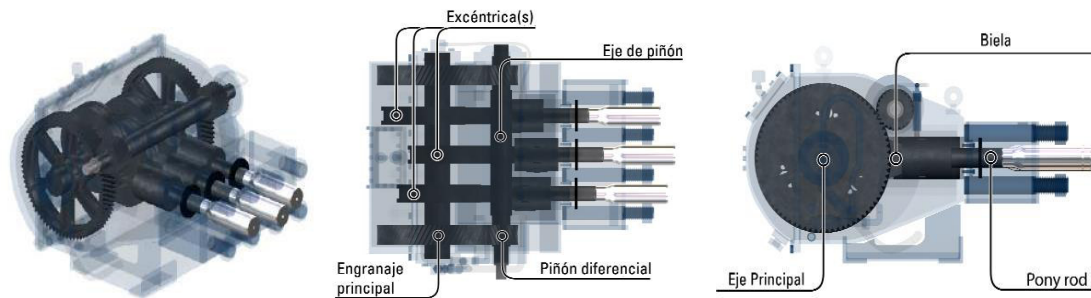


Figura 8. Componentes del Power end [1].

#### b) Fluid end (FLE)

La sección fluid end es la encargada de recibir la energía del power end, en esta parte el fluido incrementa su presión para posteriormente ser descargado. El sistema de bombeo es similar a la de un motor recíprocante de combustión interna. Véase la figura 9.

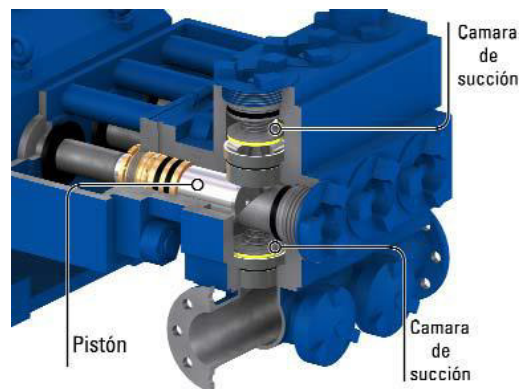


Figura 9. Fluid end. [1]

El funcionamiento de la bomba empieza cuando uno de los pistones se desplaza hacia Power end, permitiendo que la presión en las cámaras disminuya ocasionando un vacío, esto permite que la válvula de succión efectúe el ingreso del fluido. Cuando el pistón se desplaza hacia el Fluid end, da como resultado el cierre de la válvula de succión y apertura de la válvula de descarga, permitiendo que el fluido que ingresó sea expulsado a una mayor presión, las dos funciones mencionadas se pueden observar en la figura 10 [1].

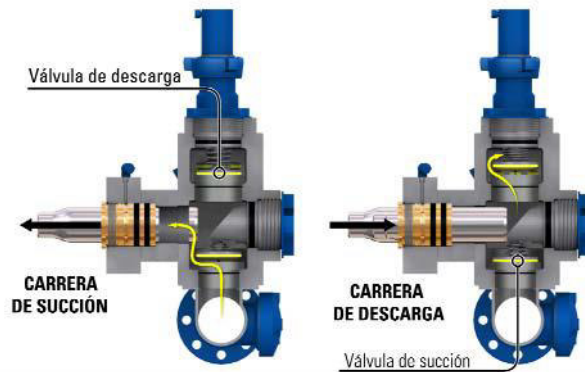


Figura 10. Comportamiento del fluido a través del Fluid end. [1]

### 2.3.5. Aplicaciones

#### a) Servicios de perforación

En el Ecuador se tienen varias actividades en la industria petrolera, parte de ello es la perforación de pozos petroleros, donde se emplean bombas para la extracción de lodos que se forman al momento de realizar la perforación. Las bombas son elementos de suma necesidad durante el proceso ya que permite tener un sistema de circulación de fluidos, estas bombas pueden ser accionadas por motores eléctricos o motores de combustión interna, las bombas tienen la capacidad de transportar grandes cantidades de fluidos a elevadas presiones, otra de sus funciones es elevar la presión y controlar el posible brote en el pozo, esto se logra al emplear bombas triplex reciprocantes [10]. Véase figura 11.

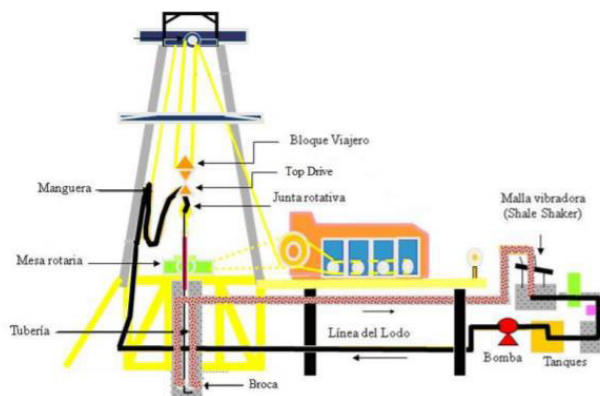


Figura 11. Sistema de circulación de lodos [10].

b) Servicios de estimulación

Con la implementación del servicio por estimulación se puede realizar trabajos de minería de forma más eficiente, este trabajo se logra a través de las bombas triples de servicio continuo, las bombas con esta característica de estimulación permiten realizar trabajos de forma continua con 275 000 lbf de carga en el vástago con un tiempo de operación al 100%. Estas bombas presentan una mejora estructura por sus carcasas forjadas que permiten alargar la vida útil del componente [1]. Véase figura 12.

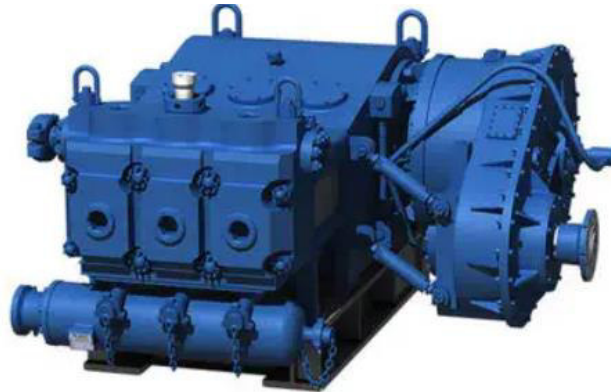


Figura 12. Bomba triplex de estimulación. [1]

c) Servicio de cementación

Se requieren de por lo menos dos bombas triplex para trabajos de cementación, debido a la alta densidad del fluido de trabajo, es por ello que se deben utilizar dos o más bombas que proporcionen la presión adecuada y necesaria para transportar el cemento hacia el hoyo perforado, también se requieren de al menos tres bombas centrífugas para satisfacer la alimentación del sistema [1].

d) Servicios de fracturamiento

El fracturamiento hidráulico se basa en la aplicación de presión a una formación, provocando una falla o fractura. Cuando se logra obtener la fractura se sigue bombeando el fluido a elevadas presiones, con el fin de que la falla y/o fractura siga creciendo para que se conecte con otras fracturas naturales del suelo, la finalidad de producir dichas fracturas es obtener mediante este proceso canales de drenaje internos [11]. Véase figura 13.

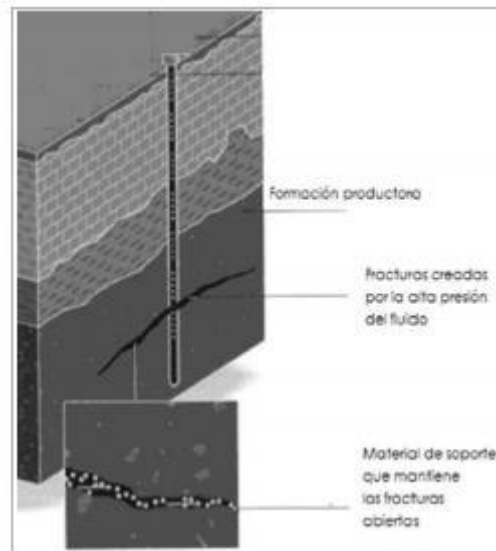


Figura 13. Fracturamiento Hidráulico. [11]

## 2.4. CÁMARA DE PRESIÓN

Es el elemento que almacena la presión de trabajo de la bomba, es aquí donde se retiene la presión del fluido mediante el cierre de la válvula de descarga, para luego ser descargado. Este componente trabaja a fatiga porque está expuesto a esfuerzos variables de presión, debido a esto las cámaras de presión son consideradas elementos críticos a los cuales se debe tener muy en cuenta durante el proceso de fabricación y también cuando entran en operación [1]. Véase figura 14.

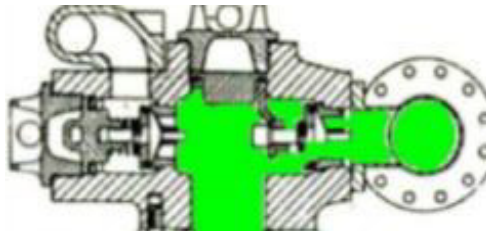


Figura 14. Cámara de compresión. [12]

### 2.4.1. Principio de funcionamiento

El principio de funcionamiento de las cámaras de presión es retener el fluido de trabajo (lodo, agua, combustible, entre otros) mediante el accionamiento de las válvulas de succión y descarga, se cierra la válvula de descarga y se abre la de succión permitiendo así ingresar el fluido con presión para posteriormente ser expulsado con el accionamiento de la válvula de descarga [12]. Véase figura 15 y 16.

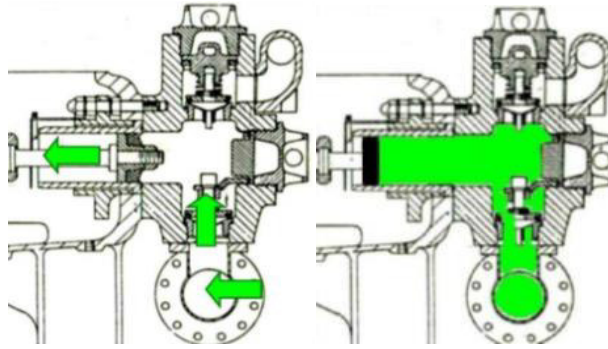


Figura 15. Ingreso del fluido en la cámara de compresión. [12]

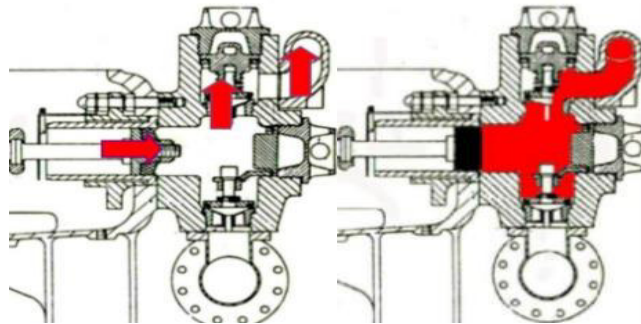


Figura 16. Salida del fluido a mayor presión de la que ingreso. [12]

#### 2.4.2. Métodos de fabricación

En la actualidad no existe variedad de métodos de fabricación para estos elementos, pero al tener este elemento una forma similar a la de una válvula de compuerta, se dice que el método más utilizado y el más adecuado para la fabricación de las cámaras es el de fundición, ya que permite abaratar costos y su producción en serie se hace más efectiva [13]. Véase figura 17.



Figura 17. Moldes para obtener piezas fundidas. [13]

Además, el método de fundición nos permite trabajar con una gran variedad de materiales como aleaciones de cobre, latón, aluminio, entre otros. Actualmente, las aleaciones de aluminio son las más utilizadas en la industria automovilística, debido a sus propiedades mecánicas, físicas y químicas. [14]

## 2.5. EL ALUMINIO.

El aluminio es considerado el tercer elemento más abundante sobre la corteza terrestre constituyendo el 7.3% de su masa, además de presentar punto de fusión bajo en comparación a el bronce y acero, desde el punto de vista técnico (factibilidad) y económico (rentabilidad) todos los productos fabricados con aluminio pueden ser repetidamente reciclados para producir nuevos productos, sin perder sus propiedades y calidad [16].

Una proporción dada de aluminio pesa aproximadamente 1/3 menos de la misma proporción en acero o cobre, siendo los únicos metales más ligeros al aluminio el litio, berilio y magnesio [16].

El bajo punto de fusión que posee el aluminio hace que los parámetros de fundición sean mucho más fáciles de controlar, por lo tanto, la obtención de piezas es más efectiva y menos costosa.

### 2.5.1. *Propiedades del aluminio*

#### a) Características físicas:

- La densidad del aluminio es de 2.7 gr/cm<sup>3</sup>.
- Peso atómico del aluminio es de 26.9815 gr/mol.
- El aluminio presenta un punto de fusión de 600°C.
- Se puede observar una contextura brillante.
- Es el metal más abundante en la corteza terrestre.
- El aluminio tiene la capacidad de ser reutilizable y de bajo costo.
- Es un buen conductor eléctrico y térmico [17].

#### b) Características mecánicas:

- El aluminio tiene un buen comportamiento al momento de ser mecanizado.
- Presenta una buena maleabilidad y ductilidad al momento de realizar láminas y cables respectivamente.
- Se puede combinar con otros elementos para aleaciones con el fin de mejorar las propiedades de cada componente.
- Entre los métodos de procesar el aluminio esta la fundición, forja, etc.
- El aluminio permite realizar soldaduras [17].

#### c) Características químicas:

- El aluminio debido a su estado de oxidación se genera una capa fina de óxido de aluminio o alúmina, esta capa protege al material del proceso de oxidación, la capa protectora presenta una coloración gris.

- Presenta características anfóteras, es decir que tiene la facilidad de disolverse en ácidos, durante este proceso libera hidrógeno.
- El estado de oxidación del aluminio es +3 [17].

### 2.5.2. Producción del aluminio

El aluminio se lo conoce como uno de los elementos más abundante del planeta tierra, pero en la naturaleza se encuentra combinado con otros elementos ya sea el hierro, silicio u oxígeno. Para la producción de aluminio se utiliza la bauxita, esta se la extrae a través de la minería y del 85% a 95% de la bauxita se obtiene el aluminio [18].

El proceso de obtención del aluminio se realiza al reaccionar la bauxita con el hidróxido de sodio que convierte el aluminio de mineral a aluminato de sodio. Con el hidróxido de aluminio se precipita al aluminato para así obtener oxido de aluminio [18].

Una vez obtenido al oxido de aluminio se coloca en criolita fundida, donde se aplica un proceso de electrolisis, al final del proceso se obtiene del 99.5% a 99.9% de aluminio. En la figura 18 se puede observar el proceso de producción de aluminio [19].

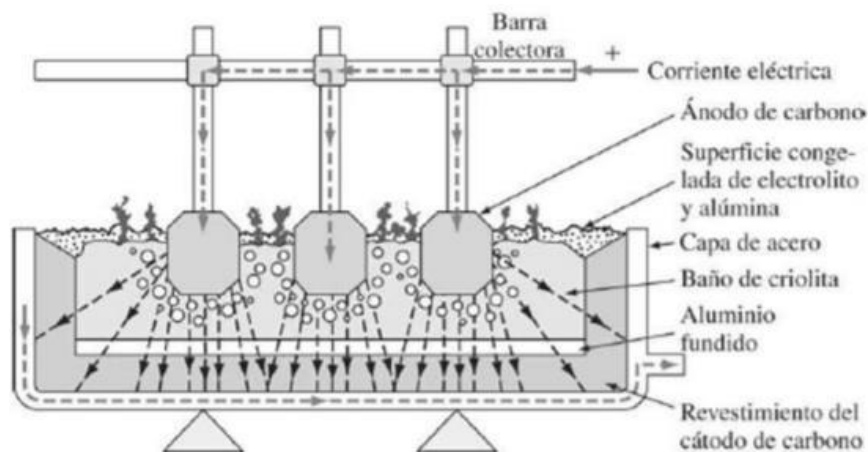


Figura 18. Tanque Cuba empleada para la producción de aluminio [19].

## 2.6. ALEACIONES DE ALUMINIO

Se conoce como aleación a un metal que está conformado con mínimo dos elementos, estos materiales se desarrollan con el propósito de mejorar sus propiedades mecánicas, dureza, estabilidad, resistencia a la tensión, entre otras.

Las aleaciones conformadas de aluminio se encuentran en el grupo de metales no ferrosos, estas aleaciones presentan del 90 a 96% de aluminio combinadas con otros aleantes, esto permite obtener un material con propiedades y características únicas [20].

### ***2.6.1. Tipo de aleaciones de aluminio***

La clasificación de aleaciones de aluminio ha ido cambiando con el tiempo y según el país, por lo que tiene conflictos al momento de estandarizar las aleaciones. Se tiene las instituciones International Alloy Designation System (AIDS) y American National Standards (ANSI), las dos instituciones se basan en la Aluminum Association of the United States, siendo una de las instituciones más reconocidas [20].

Las aleaciones de aluminio se clasifican en dos categorías

- Aleaciones de aluminio Deformables
- Aleaciones de aluminio de Fundición

Las aleaciones deformables se las obtiene por deformación plástica y a su vez estas aleaciones presentan una composición y microestructura diferente a las aleaciones de aluminio [20].

#### *a) Aleaciones de aluminio deformables*

Según la ANSI a la aleación deformable se asigna un número de cuatro dígitos, donde el primer dígito es el elemento de aleación y se clasifican en los siguientes grupos [21]:

- La serie 1xxx aluminio con 99% de pureza sin alear.
- La serie 2xxx el cobre es el principal aleante.
- La serie 3xxx el magnesio es el principal aleante.
- La serie 4xxx el silicio es el principal aleante.
- La serie 5xxx el magnesio es el principal aleante.
- La serie 6xxx el silicio y el magnesio es el principal aleante.
- La serie 7xxx el zinc es el principal aleante y se tiene elementos como el cobre, magnesio, zirconio y cromo se deben especificar.
- La serie 8xxx se emplea para elementos como el litio.
- La serie 9xxx se emplea para aleaciones inusuales.

En su clasificación los números tres y cuatro representan la pureza mínima del aluminio en las aleaciones 1xxx, ejemplo 1300 se entiende que el aluminio posee una pureza de 99.00%, el tercero y cuarto número para las series 2xxx al 8xxx representa la secuencia de las aleaciones y se entiende que cada aleación posee propiedades diferentes. El segundo dígito corresponde a las modificaciones que presenta la aleación, si el segundo dígito es cero, significa la aleación no tiene modificaciones, dicho dígito puede ir del 1 al 9 con modificaciones mínimas entre la original [21]. La clasificación y características de las aleaciones deformables, se observa en la Tabla 1.



Tabla 1. Clasificación de las aleaciones deformables y características. [21]

Número de serie	Elemento de aleación principal	Resistencia corrosión	Dureza	Tratamientos térmicos
1xxx	Ninguna	Excelente	Bueno	No tratado al calor
2xxx	Cobre	bueno	Excelente	Tratada térmicamente
3xxx	Manganeso	Bueno	Bueno	No tratado térmicamente
4xxx	Silicio	-----	-----	Varía según la aleación
5xxx	Magnesio	Bueno	Bueno	No tratada térmicamente
6xxx	Magnesio y silicio	Bueno	Bueno	Tratada térmicamente
7xxx	Zinc	Bueno	Excelente	Tratada térmicamente

b) Aleaciones de fundición

Según la ANSI las aleaciones de fundición tienen una clasificación de tres dígitos y un decimal, donde el decimal 0 corresponde a aleaciones de fundición de forma directa al molde, la décima 1 representan a la composición de lingote que presenta límites de composición química y la décima 2 comprende a lingotes no estándar, difieren de los límites establecidos y se encuentran dentro de los límites nominales, entre la clasificación se tiene [22]:

- La serie 1xx.x aluminio con 99% de pureza como valor mínimo empleado para la manufactura de rotores.
- La serie 2xx.x el cobre es el aleante principal.
- La serie 3xx.x el silicio, cobre y magnesio como aleantes principales.
- La serie 4xx.x el silicio es el aleante principal.
- La serie 5xx.x el magnesio es el aleante principal.
- La serie 7xx.x el zinc es el aleante principal.
- La serie 9xx.x se emplea para aleaciones inusuales.

En su clasificación de segundo y tercer dígito para la serie 1xx.x representa el porcentaje de pureza del aluminio, para las series del 2xx.x al 9xx.x se emplean para identificar las aleaciones en cada grupo [22].

### 2.6.2. Aplicaciones de las aleaciones de aluminio

Se conoce que, para las aleaciones de aluminio en el proceso de fundición, el lingote obtenido tiene una composición química, pero la aleación obtenida se puede volver a fundir y así obtener el producto deseado con la composición química final en nuestro producto. En la figura 19, se puede observar un ejemplo de elementos fabricados con aleaciones de aluminio.



Figura 19. Elementos fabricados con aleaciones de aluminio. [23]

Lo que se pretende es buscar un grupo de aleación de aluminio adecuada para la fabricación de las cámaras de compresión de una bomba recíproca de triple émbolo.

Las aleaciones de aluminio por vaciado o fundición tienen una gran acogida en el mercado por su variedad y bajos costos. Entre los elementos que se fabrican con aleaciones de aluminio son utensilios de cocina, componentes electrónicos, estructurales, elementos de vehículos, entre otros [23].

Entre los grupos de aleaciones por vaciado se tiene las aleaciones de aluminio-cobre, aluminio-silicio-cobre/magnesio, aluminio-Silicio, aluminio-Magnesio, aluminio-Zinc y aluminio-Estaño, de las cuales se detallan a continuación [23]:

#### a) Aluminio-Cobre

Las aleaciones tienen la opción de trabajar con molde de arena o molde permanente, dichas aleaciones pueden ser tratadas térmicamente, presenta una buena resistencia a la tracción y permite trabajar a elevadas temperaturas [22].

Según las características mencionadas este grupo de aleaciones son empleadas en la industria aeroespacial o en elementos de máquinas herramientas. En la industria aeroespacial se fabrican los cohetes propulsores [22].

b) Aleaciones de aluminio-silicio-cobre/magnesio

Los elementos obtenidos por dicha aleación empleando molde permanente o molde de arena, tienen la facilidad de someterse a tratamientos térmico, presenta una buena soldabilidad, fluidez y resistencia a la tracción [22].

Para este grupo de aleaciones su uso es extenso, por su buena fluidez y elevada resistencia al desgaste, esto se debe gracias a su contenido de silicio en sus aleaciones.

c) Aleaciones aluminio-silicio

Los elementos fundidos ya sean obtenidos por molde permanente o molde de arena, no pueden ser tratados térmicamente, pero estas aleaciones presentan una buena fluidez y resistencia a la tracción, gracias a su fluidez tiene la facilidad de generar elementos de geometrías complejas. Su campo de aplicación en equipos dentales, en la industria marina, componentes arquitectónicos, entre otros. Véase un ejemplo de aleación de aluminio en la figura 20.



Figura 20. Pistón de aleación Aluminio Silicio [24]

d) Aleaciones aluminio-magnesio

Las aleaciones pueden ser obtenidas con molde de arena o molde permanente, no pueden ser tratadas térmicamente, entre sus principales características presenta sobresale su buena resistencia a la tracción otra de sus características es su resistencia a la corrosión, la cual puede estar expuestos a ambientes salinos como el agua de mar. Su principal aplicación es la elaboración de componentes de barcos [22].

e) Aleaciones de aluminio-zinc

Los componentes fundidos por molde permanente o molde de arena pueden ser tratados térmicamente, una de las principales características es su resistencia a la tracción, entre sus principales aplicaciones es la obtención de piezas de uso agrícola, protección a la intemperie y minero, ya que poseen buenas características de acabado superficial, excelente protección contra la corrosión y buena maquinabilidad [22]. Ejemplo de aleaciones de Aluminio-Zinc véase la figura 21.



*Figura 21. Acero cubierto con aleaciones de Aluminio-Zinc [22]*

## **2.7. FUNDICIÓN**

El proceso de fundición permite obtener piezas de complejas dimensiones al fundir un metal o aleación metálica, esto se logra al someterlo a temperaturas superiores a la temperatura de fundición, una vez que se encuentre en estado líquido se procede a verter en un molde previamente elaborado, se deja enfriar, donde se solidifica y toma la forma del molde [25]. En la figura 22 se puede observar el aluminio en estado líquido.



*Figura 22. fundición de Aluminio [25]*

En el proceso de fundición se debe considerar varios factores para obtener una pieza fundida en buenas condiciones, entre ellos un buen acabado superficial, homogeneidad en la pieza, disminuir las discontinuidades, porosidades, evitar microporosidades entre otros factores.

### **2.7.1. Métodos de fundición**

El método de fundición que se va a emplear depende del tipo del material a utilizar para obtener la pieza y el acabado superficial que se desee obtener, estos parámetros determinan el método de

fundición a utilizarse. Una vez obtenida la pieza fundida se le aplica varios procesos dependiendo del tipo de acabado como producto final, entre estos procesos se tiene el desbaste de exceso de material ocasionado por la fundición, limpieza de la superficie, mecanizado de la pieza si es que lo requiere (se emplea para obtener un mejor acabado superficial y tener unas tolerancias más finas) y aplicación de tratamientos térmicos con el fin de mejorar sus propiedades mecánicas. [26]

Los procesos de fundición se pueden clasificar por varios aspectos, pero el más utilizado es la clasificación por el tipo de molde a utilizar, donde estas se dividen en fundición de molde permanente y fundición con molde desechable.

### *I. Molde Permanente*

Los moldes permanentes se los conoce como moldes metálicos o coquilla, estos se los fabrica con fundición gris o acero, dichos moldes según su tamaño y complejidad de los elementos a obtener, son idóneo para la producción en serie, gracias a la bondad de este molde se puede obtener piezas con buenos acabados superficiales y dimensiones similares a la pieza terminada [27]. Se pueden fundir elementos en base de aluminio, magnesio, plomo y estaño, empleados en aleaciones en base cobre y fundición gris. [28]

Fundiciones obtenidas a través de molde permanente, permite obtener buen acabado superficial y dimensiones estrechas como ya se mencionó con anterioridad. Cabe recalcar que su tiempo de solidificación es rápida, por lo que resulta favorable en sus propiedades mecánicas generando piezas con mayor dureza debido a su estructura de grano más fina [29].

La fundición en molde permanente se clasifica en fundición en coquilla, a baja presión, en matrices y fundición hueca.

### *II. Molde Desechable*

En este proceso el molde que se emplea para obtener la pieza se destruye una vez que se solidifique el elemento permitiendo así retirar el sólido, estos moldes pueden ser elaborados por arena o yeso que a su vez deben combinarse con varias clases de aglomerantes.

Uno de los procesos más empleados en el país, es la fundición en moldes de arena, una vez realizados los moldes arena se vacía el metal líquido, al terminar el proceso se retira el elemento fundido destruyendo el molde de arena [30].

La fundición en molde desechable se clasifica en:

- Fundición en arena
- Moldeo en cascara
- Moldeo en yeso

- Moldeo en vacío
- Moldeo con espuma perdida
- Moldeo a la cera perdida [31].

i. Fundición en arena

La fundición con molde de arena se realiza con cajas de madera las cuales están compuesta de dos secciones: el marco superior y el marco inferior; los modelos se encuentran conformados en dos secciones superior e inferior. Para el modelo se debe considerar su extracción sin que se vea afectado el negativo formado, ya sea en el marco superior o inferior. El molde de arena se obtiene al comprimir la arena alrededor del modelo, dichos modelos se elaboran de madera, metal, polímeros u otros materiales, al retirar el modelo se obtiene una cavidad con el diseño del elemento que se va a fundir [32], [33].

El sistema de alimentación en el molde permite el ingreso de metal fundido hacia la cavidad interna, donde fluye desde el exterior al interior del molde. En las aleaciones que presentan altos índices de contracción, se debe incorporar en el molde una mazarota, el adicionar una mazarota ayuda a tener una reserva de material fundido, que permite disminuir las contracciones que se generan en la pieza fundida durante su solidificación, la pieza a obtener presenta menores contracciones cuando la mazarota se solidifica después que lo haga el elemento fundido [32]. Véase en la figura 23 los principales componentes de un molde de arena.

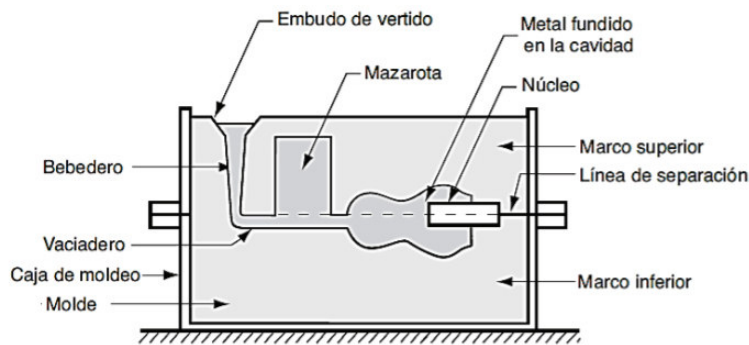


Figura 23. Principales componentes de un molde de arena [33]

Los modelos para realizar el molde de arena, por lo general son de madera, de material polimérico o metálicos, dichos modelos deben poseer una dimensión superior ya que la pieza presenta contracciones y en la mayoría de los casos son sometidos a un proceso de maquinado. El tipo de material a emplear depende del número de piezas que se va a elaborar, siendo el modelo de madera el más susceptible a deformarse por lo que se puede realizar un número limitado de piezas, mientras que el modelo metálico permite obtener un mayor número de piezas con la excepción de que el costo de elaboración es superior al de madera.

ii. Moldeo en cascara

El proceso para su obtención utiliza materiales secos, entre ellos la arena seca y la resina sintética, termofraguable a base de fenol y formaldehído, resina para aglomerar la arena con el fin de generar una capa rígida. Para su obtención, primero se procede a elevar la temperatura del modelo, sobre el mismo se aplica una capa antiadherente de silicona o parafina, en este paso su temperatura puede estar entre 175 a 370 C, después se introduce en una caja que contiene arena con resina a base de fenol, la resina al entrar en contacto con el modelo se endurece que forma a su vez una cascara con un espesor variable de 5 a 7 mm [33], [34]. El proceso mencionado se puede observar en la figura 24.

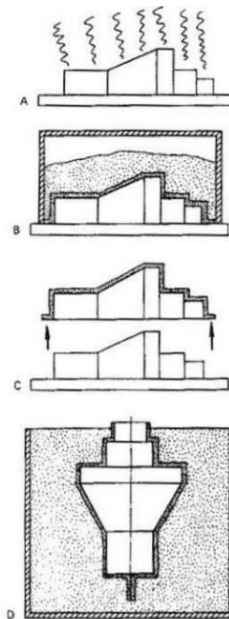


Figura 24. Moldeo en cascara. [31]

iii. Moldeo en yeso

El molde en yeso se obtiene a partir de la mezcla de talco con arena sílice, que permite controlar su contracción y el tiempo de fraguado, dicha combinación reduce las grietas y genera moldes con una levada resistencia. Para su obtener el molde se procede a colocar el yeso en agua para que se fragüe, luego se procede a vaciar en el modelo, la consistencia de la mezcla permite que fluya y permita adherirse a todos los detalles del modelo. Finalmente, se procede a la etapa de secado, donde puede ser de forma natural que puede tardar varios días o con la ayuda de una estufa que puede obtener el molde en un par de horas [25]. En la figura 25 se observa un ejemplo de molde de yeso.



Figura 25. Molde de Yeso. [25]

iv. Moldeo en vacío

El proceso de fundición por colado se realiza al colocar el metal fundido en el molde, donde por efecto de la gravedad se distribuye en la cavidad interna, en la mayoría de las ocasiones estos moldes contienen aire y gases atrapados que no permite tener una fundición completa. Para evitar esta acumulación de gases y aire, se coloca el molde en un equipo que tiene una bomba de vacío que permite absorber el aire y los gases [33].

Este tipo de fundición tiene buenos resultados en piezas de mediano tamaño y espesor, es útil para piezas de formas complejas. Durante su proceso, se introduce el modelo de forma parcial en el horno del metal fundido, con la bomba de vacío se introduce el material fundido en el interior del molde a través de una abertura en su parte inferior [31]. El procedimiento se puede observar en la figura 26.

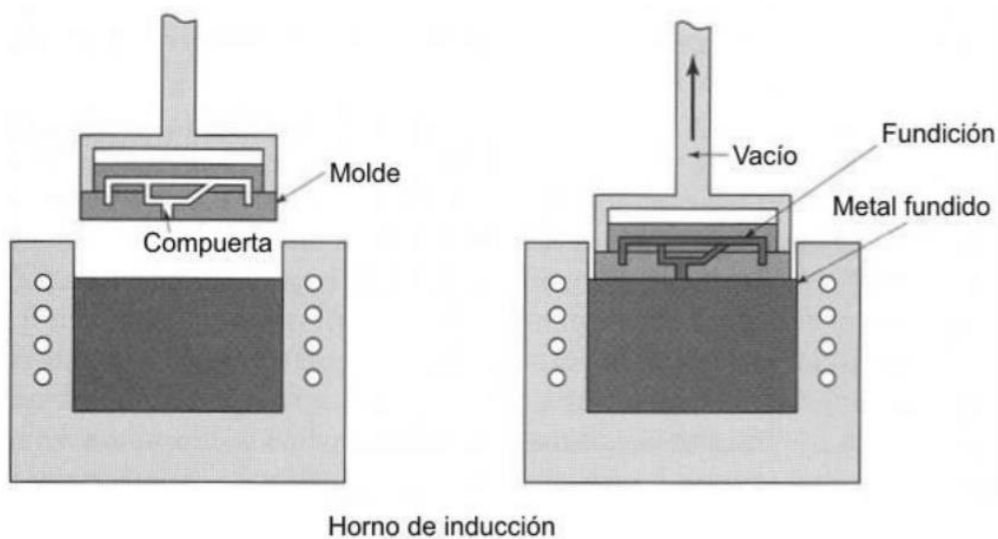


Figura 26. Proceso de Fundición al vacío. [31]



v. Moldeo con espuma perdida

El moldeo con espuma perdida también se la conoce como fundición con poliestireno expandido, se basa en un molde de arena compacta alrededor del modelo de poliuretano, este al momento de entrar en contacto con el metal fundido se vaporiza. Los modelos de poliestireno incluyen mazarota, vertederos y sistemas de alimentación, este tipo de modelos no requiere de un molde en dos secciones. Al modelo se le puede añadir un recubrimiento refractario que permite tener elementos con mejores acabados superficiales [33]. En la figura 27 se puede observar el proceso de fundición con espuma perdida.

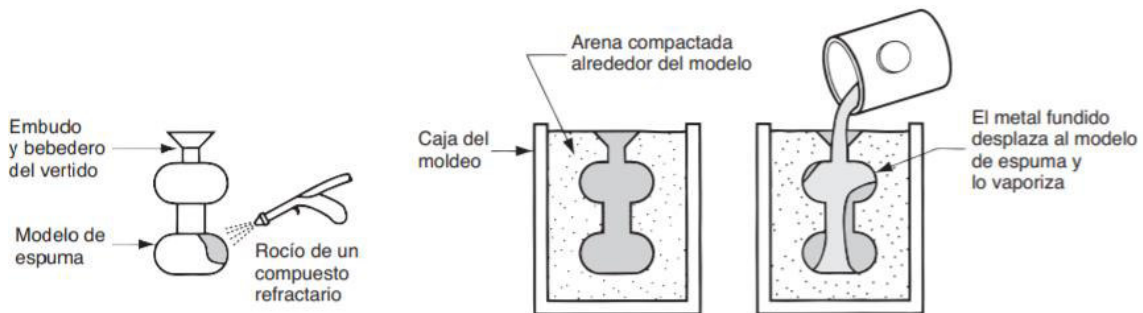


Figura 27. Proceso de fundición con espuma perdida [33].

vi. Moldeo con cera perdida

La fundición con cera perdida también se la conoce como fundición por revestimiento, consiste en generar un modelo de cera, la cera antes de verter el material fundido se derrite. Este proceso se considera de alta precisión, permite obtener elementos con dimensiones similares al modelo y de geometrías complejas [33].

La elaboración de los modelos se lleva a cabo por moldeo, vertiendo o inyectando la cera caliente en un troquel maestro. El recubrimiento de material refractario se realiza con la inmersión del árbol de modelos, el molde final es sumergido en masa refractaria o a su vez compactada con suavidad al material refractario. Para su secado se lo deja reposar por un tiempo mínimo de ocho horas para endurecer su superficie, se lo puede realizar a temperatura ambiente. Con este proceso de fundición se puede llegar a tolerancias de 0.075 milímetros, con excelentes acabados superficiales y en la mayoría de los casos no requieren maquinado adicional. En la figura 28 se detalla el proceso de fundición con cera perdida. [33]

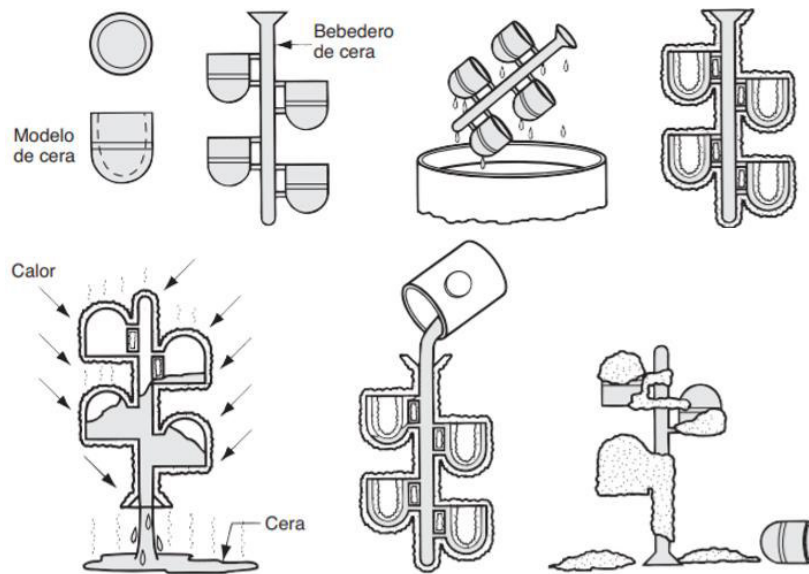


Figura 28. Proceso de fundición con cera perdida [33]

### 2.7.2. Noyos o Machos.

Los noyos, macho o también conocidos como almas, son elementos que permiten generar cavidades internas u orificios en las piezas que se va a fundir, también se puede obtener detalles exteriores. Los noyos se instalan en los moldes, considerando el espacio que va a ocupar en el modelo, una vez colocados se procede a verter el material fundido, por lo general son envueltos por la masa fundida [35].

#### I. Fabricación de Noyos

En elaboración de los noyos, se debe considerar los siguientes aspectos:

- Los noyos deben tener la forma y los acabados superficiales del elemento a fundir.
- La elaboración del noyo debe realizarse sin dificultad.
- Generar la mezcla idónea del noyo para su fácil extracción durante el proceso de desmoldeo de la pieza.
- Diseñar la salida de gases que se desarrollan durante el colado del material fundido.
- El noyo debe poseer resistencia mecánica y a su vez poseer flexibilidad para evitar los rechupes que pueden generarse en la pieza durante su solidificación.

Para lograr una correcta instalación del noyo en el molde, se considera la portada del macho con la forma y dimensiones determinadas. Las portadas permiten tener una mayor estabilidad del noyo en el molde, una correcta fijación de posición y la evacuación de los gases que se generan durante la fundición [35].

Dichos gases que se generan en la fundición se los puede disminuir al elaborar un labrado de canales de ventilación en los noyos, durante la colada los machos generan una gran cantidad de gases al momento de elevar su temperatura, por esta razón deben contar con un sistema de ventilación. Dichos sistemas se los puede obtener por varios procedimientos, uno de los métodos es generar canales de ventilación con agujas o punzones, otro procedimiento es moldear en los noyos varillas de acero o mechas de cera para luego ser extraídas [35], [36].

## CAPÍTULO III

### 3. METODOLOGÍA

En este capítulo se dará a conocer el material seleccionado para la fabricación de las cámaras de compresión, el detalle del procedimiento de fundición empleado durante la fabricación, el rediseño de la geometría de los acoples de las cámaras y la descripción del mantenimiento realizado a los componentes de la bomba en general.

#### 3.1. SELECCIÓN DE LA ALEACIÓN DE ALUMINIO

Para la selección de la aleación de aluminio se parte por la sustitución de la aleación de bronce al aluminio por una aleación de aluminio al silicio, este tipo de aleaciones poseen buenas características y ciertas ventajas sobre las aleaciones de bronce al aluminio, para este caso de estudio se opta por seleccionar la aleación de aluminio silicio 4XX.X donde el principal aleante es el silicio, a continuación, en la tabla 2 se etiquetan las más importantes.

Tabla 2. Aleación de aluminio vs aleaciones de bronce [37].

Material	Peso específico [gr/cm <sup>3</sup> ]	Disponibilidad	Costo [\$/kg]	Maquinabilidad	Temperatura de fusión [C]
<b>Aleaciones de aluminio</b>	2.7 - 2.8	Se puede encontrar con facilidad	0.55	Buena maquinabilidad	Baja temperatura de fusión 660
<b>Aleación de broce</b>	7.4 – 8.9	Requiere de varios componentes	1.4	Requiere de herramientas de corte especiales	Alta temperatura de fusión 830- 1020

Para este estudio se utilizaron pistones de automotores de alto cilindraje de camiones o buses. En la figura 29 se puede observar los pistones marca ISUZU utilizados para la fabricación de las cámaras de compresión.



*Figura 29. Pistones de camión marca ISUZU. [Fuente propia]*

Se conoce que la aleación empleada para la fabricación de los pistones es de aluminio al silicio, donde el porcentaje de silicio varía de 11% al 13%, su punto de calentamiento es mayor que la temperatura eutéctica superior a los 577°C. [15]

Las cámaras de presión no se fabricaron con aleación de bronce al aluminio, utilizada en trabajos de titulación anteriores, ya que la fundición de la misma es compleja debido a una variable en especial, esta es el alto punto de fusión. Al tener el material base (cobre) un punto de fusión elevado hace que los materiales aleantes, tales como el silicio, se quemen y sea necesario recompensarlos agregando en la colada silicio puro. La velocidad de enfriamiento también se ve afectada debido a que el gradiente de temperatura, respecto al medio ambiente, es grande; por lo que es necesario controlar este enfriamiento para evitar que el material aumente su dureza, y por lo tanto este se haga frágil, otro aspecto importante a tomar en cuenta es su alta densidad y elevado costo en el mercado, haciendo que las piezas obtenidas sean pesadas y dependiendo del tamaño de estas, que la manipulación se torne compleja y la obtención del metal para fundir sea costosa en relación a aleaciones de aluminio.

Las principales características de la aleación de aluminio – silicio son: buena resistencia, una excelente fluidez durante la colada, alta resistencia a la corrosión, una buena ductilidad, buena resistencia a tracción, alta resistencia ante impactos y una excelente relación densidad-peso (peso específico), además, las aleaciones de aluminio silicio poseen excelente fluidez y capacidad de alimentación a los moldes, al tener en su composición al silicio como material aleante hace que su colabilidad sea buena [16].

La ANSI<sup>1</sup> clasifica en dos apartados a las aleaciones de aluminio, una de ellas se obtiene por conformado y la segunda a través de moldes de fundición. Para el caso de estudio, se va a tomar en cuenta las aleaciones por moldes que presenten silicio en cantidades de 11% al 13%, por lo que se toma como referencia a la serie 4XX.X como se puede observar en la tabla 3.

Tabla 3. Sistema de designación aleaciones de aluminio por moldeo [38].

Aluminum, $\geq 99.00\%$	1xx.x
Aluminum alloys grouped by major alloying element(s): Copper	2xx.x
Silicon, with added copper and/or magnesium	3xx.x
Silicon	4xx.x
Magnesium	5xx.x
Zinc	7xx.x
Tin	8xx.x
Other elements	9xx.x
Unused series	6xx.x

En el catálogo de Rheinfelden se identifica que el Silafont-70 [AlSi12CuNiMg], es una aleación que se puede emplear en el área automovilística, donde están expuestos varios elementos a cargas de tracción y trabajos a elevadas temperaturas. Este tipo de aleación posee buenas propiedades mecánicas a elevadas temperaturas, excelentes propiedades de mecanizado y resistencia a la corrosión, resistente a trabajos expuestos a fatiga y resistente al desgaste [39]. La composición química del Silafont-70 se puede observar en la tabla 4.

Tabla 4. Composición química Silafont-70 en % de masa. [39]

Si [%]	Fe [%]	Cu [%]	Mn [%]	Mg [%]	Zn [%]	Ti [%]	Otros [%]
11.0-13.5	0.15	0.8-1.3	0.05	0.9-1.3	0.1	0.1	0.8-1.3 Ni

A los tochos obtenidos por fundición en el laboratorio de fundición de la facultad de Ingeniería Mecánica, se aplicó un ensayo de espectrometría por Chispa, donde se logró obtener la composición química, teniendo una gran similitud con la aleación mencionada, el análisis obtenido se encuentra en el anexo 1. En la tabla 5, se muestra la composición química de los tochos y en la figura 30 se observa los tochos obtenidos en el laboratorio.

<sup>1</sup> American National Standards (ANSI).

Tabla 5. Composición química de los pistones fundidos [40].

Si [%]	Fe [%]	Cu [%]	Mn [%]	Mg [%]	Zn [%]	Ti [%]	Otros [%]
13.6	0.67	1.5	0.03	0.96	0.03	0.04	0.95 Ni



Figura 30. Tochos de aluminio al silicio obtenidos en el laboratorio. [Fuente propia]

### 3.2. REDISEÑO DE LAS CÁMARAS DE COMPRESIÓN

Para el rediseño de las cámaras de compresión se toma en consideración los problemas presentados en estudios anteriores en las acometidas de ingreso y salida de agua, es aquí donde debido al diseño se presentaron fugas de agua (menores) pero que alteraban el correcto funcionamiento provocando caídas de presión.

En la figura 31 se observa que el acople cilíndrico (rojo) se encuentra a tope con la superficie de descarga, este diseño fue presentado en estudios anteriores y es aquí donde se originaron fugas menores de agua, esto debido a que la presión del agua incidía directamente sobre la base originando un punto de estanquidad haciendo que el fluido fugue por el contorno.

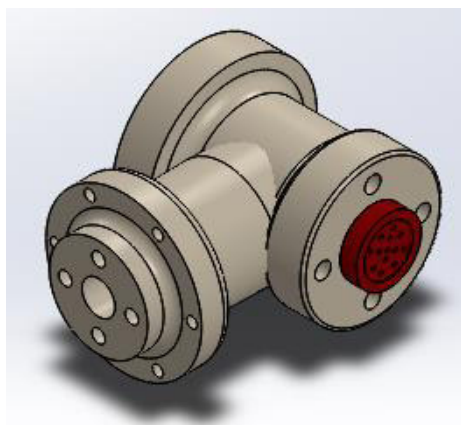


Figura 31. Diseño 3D de válvula anterior. [Fuente propia]

Es por ello que se realizarán modificaciones para solventar los problema de fugas, estas modificaciones fueron dos, en la primera se realizó una cavidad de 12 milímetros de profundidad que permita ingresar por completo la base (circular) de las válvulas de descarga y que estas no se encuentren a tope con la superficie de la sección de descarga, en la figura 32 se puede observar que la base de las válvulas de descarga (base cilíndrica roja) se encuentran embonadas en la sección de descarga formando aparentemente un solo cuerpo.



Figura 32. a) Válvulas de descarga ancladas a la superficie de la Cámara, b) Cámara en 3D con el nuevo diseño.  
[Fuente propia]

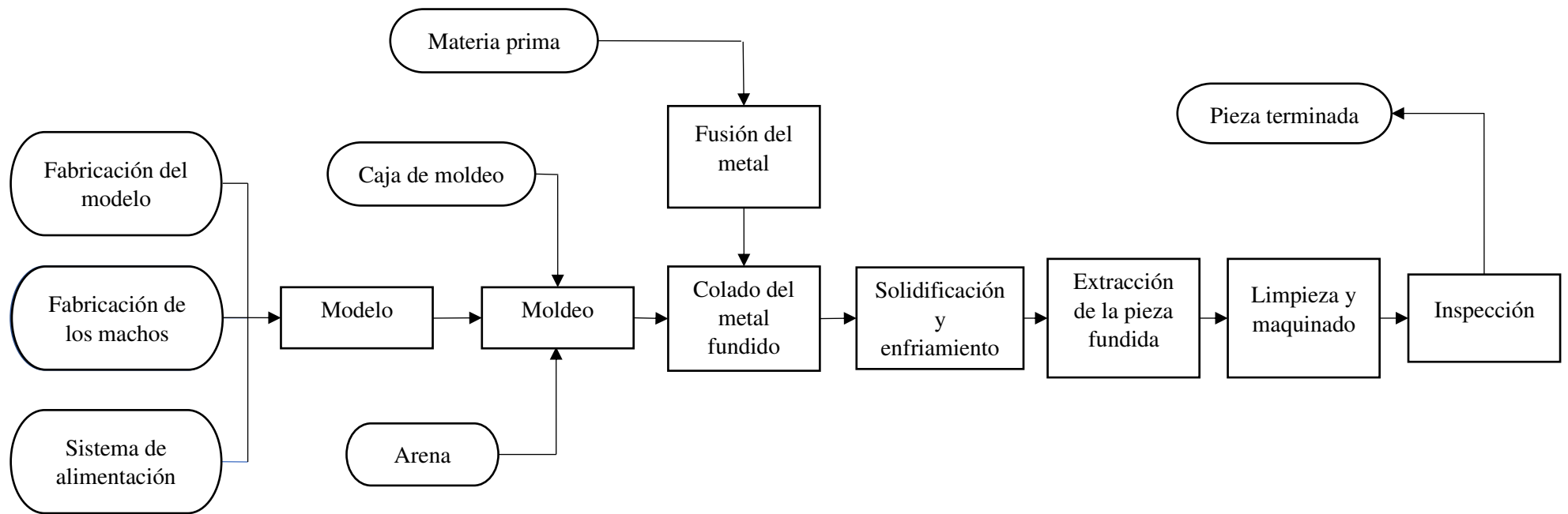
### 3.3. PROCESO DE FUNDICIÓN

Para este caso de estudio se pone en práctica la fundición con molde en arena verde, para lo cual se aplica el procedo detallado en el Esquema #1.

Para realizar un proceso de fundición correcta se debe tomar en cuenta el esquema siguiente, donde se debe elaborar el modelo del elemento a fundir este puede ser elaborado en madera, si el elemento presenta concavidades huecas se procede a elaborar un molde para la elaboración de los machos o noyos, una vez que se tenga los modelos y los machos se procede a elaborar el molde con su respectivo sistema de alimentación. Una vez obtenido el molde, se procede a colocar el metal fundido en el molde, al enfriarse y solidificarse el material se procede a la extracción del elemento, a continuación, se procede con su mecanizado para obtener las dimensiones finales con su respectivo ajuste, por último, se inspecciona el elemento.



Esquema 1. Proceso de Fundición [Fuente Propia].



### 3.3.1. Modelo

En base a los modelos fabricados en el trabajo de titulación de Claudio L. [4], se procede a desarrollar las nuevas cámaras de compresión con la aleación de aluminio al silicio obtenida en el laboratorio de fundición de la facultad, por primera instancia se mantiene sus dimensiones definidas en el estudio base. El rediseño se lo realiza durante su mecanizado, donde se emplea equipos como: un Torno CNC y una maquina universal CNC. En la figura 33 se puede observar el modelo de la cámara de compresión.



Figura 33. Modelos de las cámaras de compresión. [Fuente propia]

Como se puede observar, los modelos presentan un acabado liso con sus respectivos ángulos de salida, los mismos que permiten retirar el modelo del molde sin que este destruya la forma generada. El molde se encuentra fabricado de madera y para afinar los ángulos de salida presenta macilla para tener un mejor control en sus detalles.

### 3.3.2. Noyos

En la fabricación de los machos o noyos se emplea un molde con impresión 3D donde los machos presentan la forma o concavidad interna de la cámara de compresión. A los moldes se los reforzó con yeso en su concavidad hueca, mejorando su estructura para desarrollar los machos sin el temor a que los mismo se desmoronen. A continuación, en la figura 34 se puede apreciar los moldes de los machos y en la figura 35 los noyos obtenidos con ayuda de los moldes.

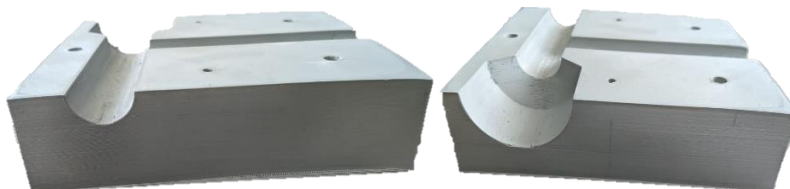


Figura 34. Molde de machos. [Fuente Propia]

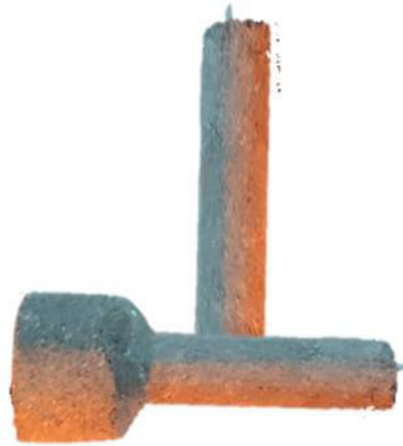


Figura 35. Noyo obtenido del molde de machos. [Fuente propia]

En la fabricación de los noyos se utiliza resinas que funcionan como aglomerante en la arena, las cuales son mezcladas en ciertas proporciones. Para la elaboración de la mezcla de noyos, se tomó los porcentajes de resinas utilizados en el estudio de Calderón M. y Flores J. [41]. Al realizar la mezcla de las resinas, estas mejoran la dureza de la arena y para su secado se emplea catalizador, esto permite que el noyo tenga un tiempo de secado menor.

Para la mezcla empleada se necesitó un estudio previo, donde se realizó varias probetas en base a la masa del noyo. En la tabla 6 se detalla el porcentaje de cada resina y catalizador empleado para la obtención del macho.

Tabla 6. Porcentajes para la fabricación de resinas.[41]

Resina	Porcentaje (%)	Descripción
Base Fenólica	3	Porcentaje con respecto a la masa total de la arena empleada en el noyo.
Base Isocianato	40	Porcentaje con respecto al valor resultante de la resina fenólica.
Catalizador	10	Porcentaje con respecto al valor resultante de la resina fenólica.

Utilizando los porcentajes mencionados en la tabla 6 se obtiene un noyo con buenas características, excelente dureza superficial, buen terminado superficial y de fácil extracción. El tiempo de secado de los machos para dichas porciones en las resinas es de 15 a 20 minutos.

El macho presenta dimensiones alargadas, donde se considera colocar un refuerzo para mantener su forma antes y durante el colado del material fundido, para ello se emplea alambres de tres milímetros de diámetro introducidos en el interior del noyo, este refuerzo se lo conoce como alma, además se debe realizar un correcto sistema de ventilación de este.

Para la fabricación del sistema de alimentación del macho, se emplea el método de generar canales de ventilación con la ayuda de puntas, este método se utilizó debido a la facilidad de realizar los canales y la herramienta utilizada para la fabricación es un alambre de diámetro 3mm, haciendo que sea práctico y fácil de conseguir.

Este método consiste hacer perforaciones con el alambre de 3mm, las cuales se realizan en la zona donde el noyo reposa en el molde de arena, estas perforaciones atraviesan el molde arena, garantizando y facilitando la salida de gases emanados por el macho.

La fabricación de los machos se detallan a continuación [41]: (ver anexo 2)

- 1) Pesar la cantidad de arena a utilizar e incrementar 50g de arena refractaria, este último valor se considera como pérdidas de fabricación, para obtener un buen macho se debe lavar y tamizar la arena refractaria.
- 2) Pesar las cantidades de resinas y el catalizador en base a la tabla 6 porcentajes para la fabricación de reinas.
- 3) Preparar la caja de machos.
- 4) Preparar el alma o refuerzo del macho con alambres de 3mm de diámetro.
- 5) Mezclar la resina en base de fenólica.
- 6) Mezclar la resina en base isocianato en la mezcla.
- 7) Cuando la mezcla está homogénea se procede a colocar catalizador y nuevamente mezclar.
- 8) Colocar la mezcla dentro del molde del macho y distribuirla.
- 9) Dejar reposar un lapso de 15 a 20 minutos para su secado.
- 10) Finalmente se procede a retirar el macho del molde.
- 11) Adicionalmente se deja reposar el macho por dos días para dar seguridad de que el noyo se encuentre seco o a su vez se puede secar el macho con un soplete.

### ***3.3.3. Sistema de alimentación***

Un buen sistema de alimentación correctamente diseñado permite obtener piezas de fundición de buena calidad, dicho sistema permite que el material fundido ingrese al molde.

El sistema de alimentación es el encargado de reducir turbulencias durante su colado, eliminar los gases atrapados, control de la solidificación temprana, disminuye los cambios bruscos de temperatura o gradientes de temperatura inapropiados. Si los ductos de alimentación se enfrían al final esto quiere decir que el diseño de alimentación es el apropiado.

El sistema de alimentación evita que la pieza a fundir presente rechupes, contracción o porosidades. Un sistema correcto permite al material fluir sin turbulencias y de forma constante al interior del molde, esto da como resultado un llenado completo de la pieza a fundir, salificación

continua durante su colado, disminuye el cambio de sus dimensiones finales y una menor presencia de porosidades en la superficie del elemento.

La cámara de compresión a fundir se le puede observar en la figura 36 para lo cual se va a emplear un sistema de colado horizontal en las probetas. A continuación, se detalla los distintos elementos que intervienen al momento de realizar el diseño del sistema de alimentación.

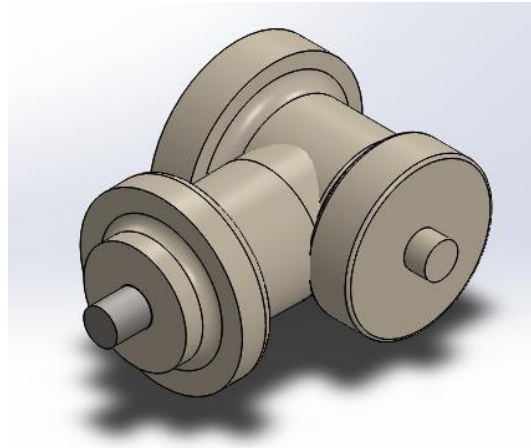


Figura 36. Pieza para fundir. [Fuente propia]

Para el cálculo del volumen de la cámara se emplea el software Solid Works, de igual forma se calcula el área de la superficie del sólido, esto debido a la complejidad en su geometría. En la tabla 7 se observan los valores obtenidos.

Tabla 7. Volumen y Área de la cámara [Fuente propia]

Volumen	1 866 464.9
[ $mm^3$ ]	
Área [ $mm^2$ ]	143 149.9

Para el diseño del sistema de alimentación se consideran los siguientes elementos que se detallan a continuación, donde se realiza un dimensionamiento de cada uno de los componentes según la cámara de compresión a fundir. Los cálculos de cada elemento del sistema de alimentación se encuentran detallados en el anexo 3.

a) Bebedero

El bebedero tiene la función de dirigir el metal líquido hacia el interior del molde de arena, se debe tomar en cuenta los siguientes factores al momento de verter el material [42].

- ✓ Temperatura a la que vierte la colada.
- ✓ Altura efectiva del bebedero.
- ✓ Diámetro de la base de bebedero.

- ✓ Geometría del bebedero.
- ✓ Turbulencias en el vertido.

Por facilidad de fabricación la forma del bebedero es similar a un cono truncado, la forma ideal que debe ser diseñado un bebedero es una hipérbola de cuarto grado [43]. Las dimensiones obtenidas para pieza a fundir se detallan en la tabla 8.

Tabla 8. Dimensiones correspondientes al bebedero. [Fuente propia]

Dimensión	Información	Valor obtenido
$D_{beb_s}$ [mm]	Diámetro del bebedero superior	27.09
$D_{beb_i}$ [mm]	Diámetro del bebedero inferior	71.98

b) Taza de colado

La función principal de la taza del bebedero consiste en estabilizar la colada que ingresa al molde, se tiene varios modelos para la taza de colada, siendo el cono truncado el más empleado. El cono truncado no tiene un control estable de flujo de colado, genera turbulencias en elementos de fundición grandes, para caso de estudio de una pieza pequeña el diseño es adecuado. En la figura 37 se tiene las dimensiones que interviene en el diseño.

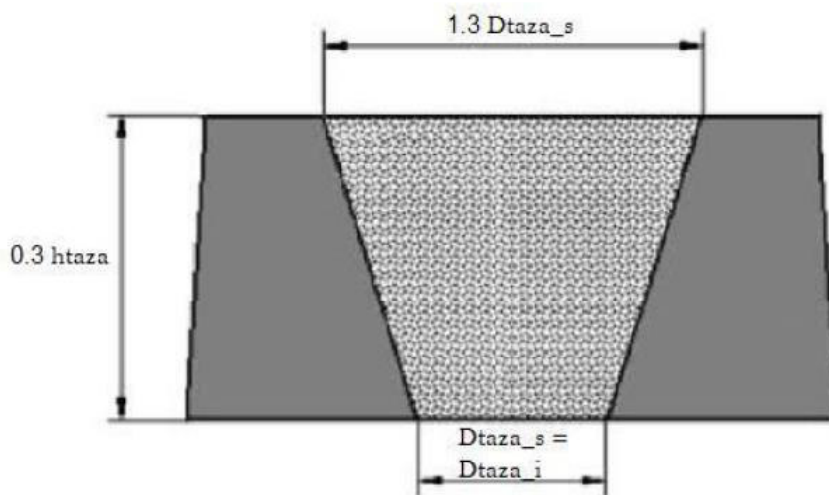


Figura 37. Dimensionamiento de la taza de colado [43].

A continuación, en la tabla 9 se puede observar los valores obtenidos de la taza de colado para la cámara de compresión.

Tabla 9. Dimensiones de la tasa de colado. [Fuente propia]

Dimensión	Información	Valor obtenido
$D_{taza\_s}$ [mm]	Diámetro de la taza superior	93.57
$D_{taza\_i}$ [mm]	Diámetro de la taza inferior	71.98

c) Pozo de colado

El pozo de colado permite que el material fundido ingrese de una forma suave, también se emplea como un retenedor de escoria, estas impurezas suelen estar presentes durante la colada. El pozo se encuentra ubicado entre el bebedero y canal de colado. En la figura 38 se puede observar los parámetros que intervienen en el cálculo del pozo que por lo general es cilíndrico.

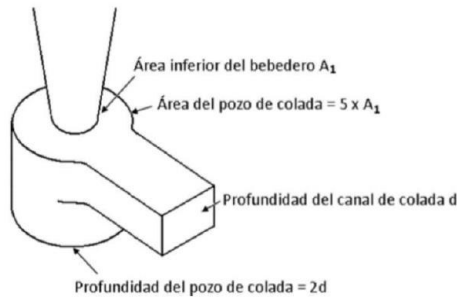


Figura 38. Dimensiones del pozo [43].

En la tabla 10 se observa las dimensiones del pozo de colado para la cámara de compresión.

Tabla 10. Dimensiones del pozo de colado. [Fuente propia]

Dimensión	Información	Valor obtenido
$D_{pozo}$ [mm]	Diámetro del pozo	83.9
$h_{pozo}$ [mm]	Altura del pozo	41.9

d) Alimentador

Para el cálculo del diámetro de alimentación se considera una sección curva, el diámetro obtenido se puede observar en la tabla 11.

Tabla 11. Dimensión del alimentador. [Fuente propia]

Dimensión	Información	Valor obtenido
$D_{alimentador}$ [mm]	Diámetro del alimentador	37.5

e) Tiempo de llenado

Es el tiempo requerido para llenar el molde por completo incluyendo el sistema de alimentación, el cual debe ser el menor posible, para evitar juntas frías que se generan cuando el tiempo de colado es prolongado. En la tabla 12 se observa el tiempo de llenado.

Tabla 12. Tiempo de llenado. [Fuente propia]

Dimensión	Información	Valor obtenido
T [s]	Tiempo de llenado	7.19

f) Altura efectiva de colado

la altura de colado está ubicada en la superficie del molde y la parte superior de pozo, para el cálculo se considera los parámetros de la figura 39.

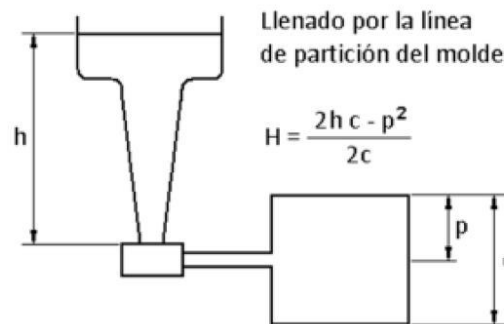


Figura 39. Altura efectiva de colado [43].

En la tabla 13 se tiene la altura efectiva de colado según el modelo de la figura 39.

Tabla 13. Altura efectiva de colado del bebedero. [Fuente propia]

Dimensión	Información	Valor obtenido
H [cm]	Altura efectiva de colado del bebedero	7.40

g) Velocidad de vertido

En base a las dimensiones de la caja de moldeo se obtiene los valores de  $h_1 = 25 \text{ mm}$  y para  $h_2 = 87 \text{ mm}$  [43]. Si la velocidad de colado es constante el elemento a fundir presenta una menor cantidad de discontinuidades y homogeneidad en la fundición. En la tabla 14 se tiene la velocidad de vertido para la cámara.



Tabla 14. Velocidad de vertido. [Fuente propia]

Dimensión	Información	Valor obtenido
V [cm/s]	Velocidad de vertido	1.3

### 3.3.4. Diseño del sistema de alimentación

El dimensionamiento de los sistemas de alimentación es fundamental para lograr obtener un proceso de fundición eficiente, un buen dimensionamiento permitirá obtener piezas sin defectos. En la figura 40 se observa el sistema de alimentación de la cámara de compresión a fundir.

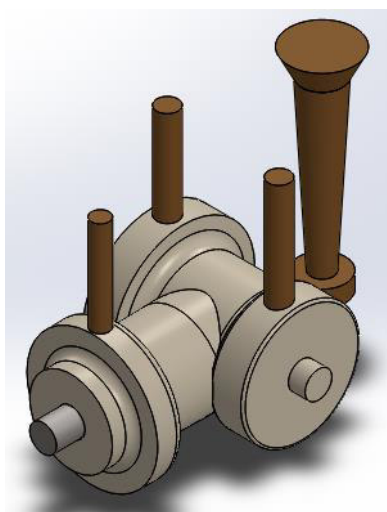


Figura 40. Modelado de la pieza a fundir con el sistema de alimentación. [Fuente propia]

### 3.3.5. Dimensionamiento de la caja de moldeo

El tamaño de la caja de moldeo se debe elaborar en base a las dimensiones y forma de los elementos a fundir como se puede observar en la figura 36 [43].

- ✓ Distancia pieza – molde.
- ✓ Distancia pieza – canal de alimentación.

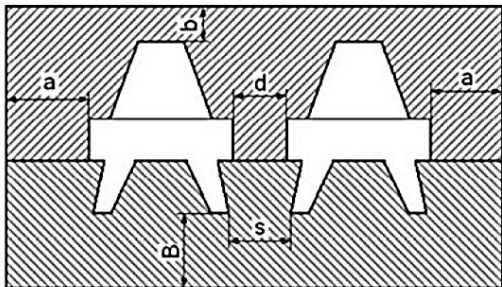
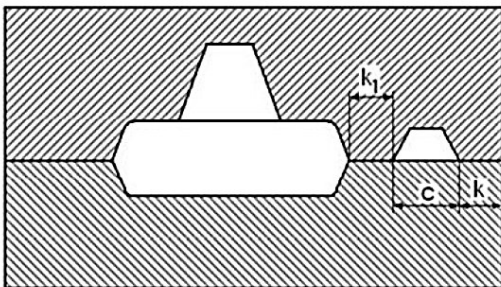
No se considera la variable pieza – pieza debido a que se fabricó una caja por cada cámara de compresión.

A continuación, se muestran en la tabla 15 las distancias admisibles para la variable de posicionamiento distancia pieza – molde y la distancia de pieza – canal de alimentación.

Tabla 15. Dimensionamiento de la caja de moldeo. [43]

Distancia pieza - pieza y pieza - molde									
Tipo de pieza		Dimensiones							
		a	b	B		s	d		
Pegueñas		20 - 30	35 - 60	50 - 75		0,3 de la altura del	0,5 de la altura del		
Medianas		50 - 75	75 - 100	100 - 125		modelo	modelo		
Grandes		125 - 175	150 - 200	175 - 200		-	-		
Distancia pieza - conductos de alimentación									
Base del conducto c [mm]	Tipo de molde	Masa de la pieza [Kg]							
		≤50	51 - 250	250 - 500	>501	≤50	51 - 250	250 - 500	>501
		k <sub>1</sub>				k			
≤25	Seco	30	35	-	-	30	35	-	-
	Verde	50	60	-	-	30	35	-	-
26 - 50	Seco	40	40	45	50	40	40	45	50
	Verde	50	55	60	70	45	50	55	60
>51	Seco	50	55	60	50	50	50	55	60
	Verde	60	65	70	80	60	60	65	70

Nota: Todas las unidades en [mm].

A la pieza de estudio se considera como pequeña para determinar las variables de pieza – molde debido a su peso, mientras que, para determinar la distancia pieza – conductos de alimentación se consideran los valores de piezas menores a 50 Kg, estos se pueden apreciar en la tabla 16. En la figura 41 se puede apreciar la caja de moldeo.

Tabla 16. Dimensiones de la caja de moldeo. [Fuente propia]

Sección	Tamaño [mm]
A	20-35
b	35-60
B	50-75
C	45
k <sub>1</sub>	50
k	45

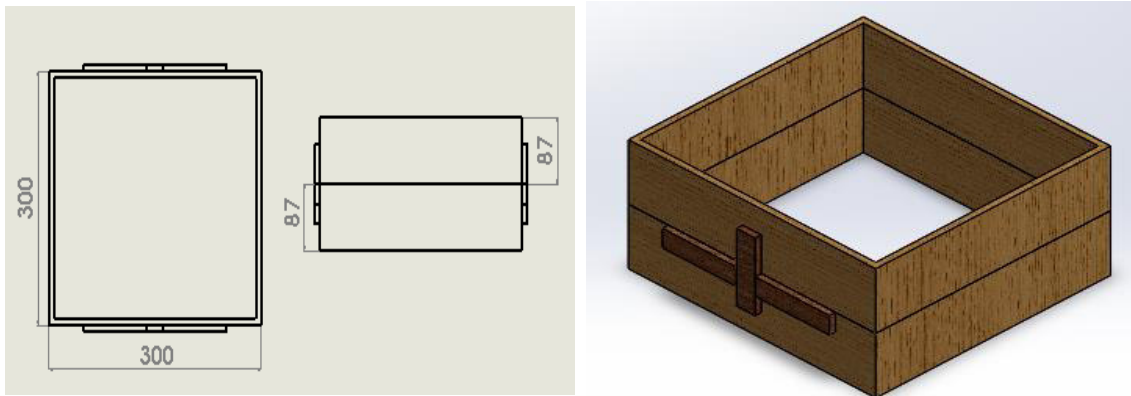


Figura 41. Caja de moldeo [Fuente propia]

### 3.3.6. Preparación de la arena de moldeo

La arena empleada para la elaboración del molde se basa en la arena sílice ( $SiO_2$ ), se emplea este tipo de arena debido a sus excelentes propiedades refractarias, elevado punto de fusión, excelente maleabilidad, buen acabado superficial en las piezas fundidas y de bajo costo.

Para la preparación de la arena de moldeo se mezcla la arena sílice con bentonita, con un promedio del 2% al 4% del peso total de la arena sílice, a dicha mezcla se añade agua para humedecer la arena, se debe mezclar para llegar a una homogeneidad. Se obtiene una base de arena con una alta permeabilidad, maleabilidad y elevada refractariedad [41].

Se realizó el análisis granulométrico de la arena de moldeo empleada en la elaboración de los moldes de arena. (Anexo 4).

### 3.3.7. Moldeo

El modelo utilizado de la cámara de compresión de una bomba de triple embolo se puede observar en la figura 33. El modelo se encuentra dividido en dos partes de forma transversal, obteniendo dos secciones de igual geometría, como resultado se obtiene moldes de tipo deslizante.

La preparación del molde requiere del modelo y cajas de madera con las dimensiones descritas en la tabla 16, para la elaboración del molde se emplean los siguientes pasos: (ver anexo 5)

1. Se debe colocar grafito en el modelo para evitar que la arena se adhiera a la superficie de este y a su vez permitir su fácil extracción. Colocar la caja hembra y el modelo sobre una superficie plana, para que el perfil de la caja de madera quede al mismo nivel que el modelo. Como se observa en la figura 42.



*Figura 42. Modelo en la caja de moldeo. [Fuente propia]*

2. Colocar una capa de arena tamizada, a esta capa se la conoce como arena de contacto, la arena tamizada permite cubrir a mayor detalle modelos con geometría compleja. Al cubrir el modelo con arena tamizada se debe taconear desde los extremos hacia adentro, esto permite tener una buena sujeción del modelo con la caja. Al terminar de colocar la capa de contacto se procede a introducir arena sin tamizar, esta capa se la conoce como arena de relleno. Como se observa en la figura 43.



*Figura 43. Relleno de la caja de moldeo. [Fuente propia]*

3. La arena de relleno se la coloca por capas hasta llenar por completo la caja y para asegurar la adherencia entre capas se las deben taconear generando un agarre entre capas de arena. Un correcto taconado es realizarlo de desde los extremos de la caja hacia adentro. La arena acumulada en la superficie se la retira con una regleta con el fin de tener una superficie plana entre la arena y el perfil de la caja. Como se observa en la figura 44.



*Figura 44. Arena de moldeo al nivel de la caja. [Fuente propia]*

4. Al terminar el moldeo con la caja hembra, se voltea para colocar la caja macho y el otro extremo del modelo, para así obtener la forma completa de la pieza a fundir. Antes de proceder con el moldeo de la caja macho, se debe colocar una capa fina de arena sílice, esta evita que la arena de la caja hembra se adhiera a la arena de la caja macho. Se procede a colocar grafito en el modelo macho y encajarlo en el modelo hembra, seguido se coloca arena de contacto y se introduce los tubos que permiten el ingreso del material fundido, se taconeo desde los extremos hacia el centro. Como se observa en la figura 45.



*Figura 45. Caja al otro extremo con la otra sección del modelo y arena sílice. [Fuente propia]*

- Al terminar de colocar la arena de contacto, se procede a colocar arena de relleno con varias capas hasta completar su llenado, cada capa debe ser taconeada para tener una mejor compactación entre ellas. La arena en exceso se la retira con la ayuda de una regleta, hasta obtener una superficie plana entre la arena y el perfil de la caja macho. Como se observa en la figura 46.



*Figura 46. Molde completo y sin exceso de arena en la caja macho. [Fuente propia]*

- A continuación, se procede a retirar el modelo de la caja con la ayuda de utensilios como la cuchara, espátulas, piqueta y martillo, este proceso se lo debe realizar con suma precaución para evitar dañar el molde, para las esquinas se recomienda utilizar agua en proporciones pequeñas y así mantener la forma que deja el modelo. Como se observa en la figura 47.



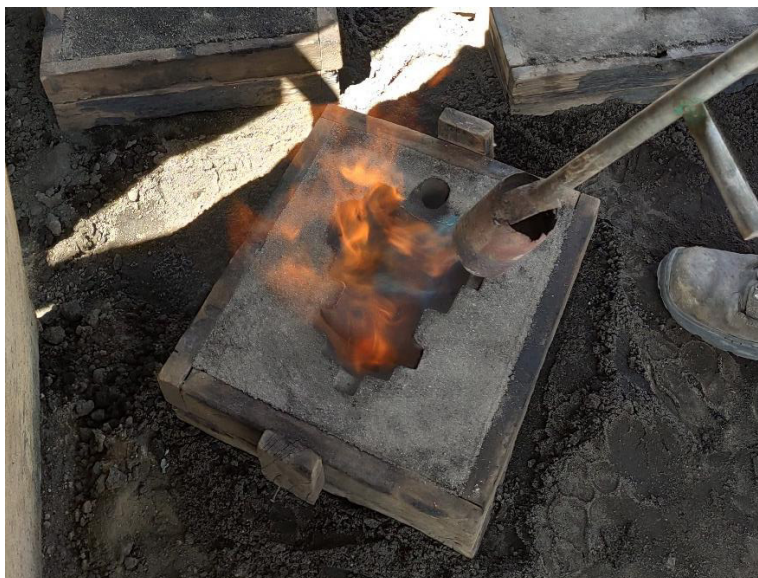
*Figura 47. Limpieza del molde, luego de extraer el modelo. [Fuente propia]*

7. Se procede a realizar las cavidades de alimentación para el elemento a fundir, para realizar dicha operación se usa la cuchara y espátulas. Seguido se limpia el negativo del modelo con aire comprimido y así evitar residuos de arena u otras sustancias. para mejorar el acabado superficial, en ciertos casos se recubre con melaza y grafito, para obtener mejores resultados en la superficie. Como se observa en la figura 48.



*Figura 48. Modelo con su sistema de alimentación. [Fuente propia]*

8. Se flamea el molde durante un tiempo de 20 a 30 minutos para mejorar la dureza en el molde y conservar la geometría del modelo. Como se observa en la figura 49.



*Figura 49. Secado del molde a través de un soplete a gas. [Fuente propia]*

9. Al terminar el proceso de moldeo se procede a colocar el macho en el molde, una vez introducidos se debe cerrar el molde, este proceso se lo debe realizar con sumo cuidado para evitar daños. Como se observa en la figura 50.



*Figura 50. Modelo terminado. [Fuente propia]*

### **3.3.8. Colada**

El material empleado en la fabricación de las cámaras de compresión es de aluminio al silicio, la materia prima para dicha aleación se extrae de pistones de automotores de alto cilindraje como los camiones Isuzu, la muestra obtenida en el laboratorio de la facultada de Ingeniería Mecánica se emplea únicamente para determinar la composición química de la aleación, para la fundición de las cámaras se emplean otro grupo pistones usados, previamente se deben aplicar una limpieza a los pistones para eliminar residuos de quemaduras de material y otros componentes como aceite.

Aun vez terminado la limpieza se introduce en el horno de fundición. Para determinar el peso de la piza se aplica la relación de la densidad, donde el peso de la pieza se considera un 6% más, debido a que el material se oxida durante la fundición, por el sistema de alimentación, rebabas, material que pasa a ser escoria o por erros humano vierte fuera del molde (ver anexo 6). A continuación, en la figura 51 se puede observar la fundición de los pistones.



*Figura 51. Fundición de los pistones. [Fuente propia]*



### **3.3.9. Colado**

Una vez fundido los pistones en el horno, dicho material fundido se lo conoce también como colada, una vez que el material se encuentre en estado líquido y a una temperatura 700 °C aproximadamente, la colada antes de ser introducida en un crisol de 8 Kg, el crisol debe ser calentado para evitar que se adhieran incrustaciones no metálicas, mantener la temperatura de la colada en el tiempo de transporte del horno al molde y permitir un vertido uniforme del crisol a molde de arena. Para evitar un choque térmico entre la colada y el molde de arena, se calienta el molde a través de un soplete a gas, al terminar se coloca unas contra pesas sobre el molde para evitar que se desplace durante su colado.

Al tener la colada y el molde de arena preparado, se procede a verter el material por el sistema de alimentación a interior del molde, al inicio, el material debe ingresar con un chorro fino e ir aumentando la velocidad de vertido al observar que se llena el canal. Para evitar movimientos del molde de arena se recomienda colocar arena alrededor (ver anexo 7). En la figura 52 se puede observar el proceso de colado en los moldes de arena.



*Figura 52. Colado del material en los moldes de arena. [Fuente propia]*

### **3.3.10. Desmoldeo**

El desmoldeo de las piezas en molde de arena no tienen una mayor dificultad al momento de extraer las piezas, los elementos que presenten geometrías complejas se las extrae con precaución para no alterar su geometría. Para el elemento de la cámara de compresión su extracción del molde de arena es sencilla, por precaución la pieza se enfrió por completo dentro del molde y así evitar variación en sus dimensiones, la extracción se realizó con un lapso de un día.

Para su extracción se destruye el molde arena y limpiar la arena que se encuentre en la superficie de la cámara. De igual forma se extrae los noyos o machos que forman las convidades

internas de la pieza. En la figura 53 se puede observar las cámaras de compresión extraídas de sus moldes de arena.



*Figura 53. Cámaras de compresión extraídos del molde de arena. [Fuente propia]*

Para la extracción del noyo se emplea puntas en la extracción del macho, el proceso es sencillo, debido a la composición de arena del macho. En la figura 54 se puede observar la extracción del noyo de la pieza fundida.



*Figura 54. Extracción del noyo. [Fuente propia]*

### 3.4. MECANIZADO DE LAS CÁMARAS DE PRESIÓN.

Una vez obtenidas las cámaras de presión mediante fundición con molde de arena se procede a realizar el mecanizado de las mismas acorde a las dimensiones requeridas.

Los elementos fundidos presentan los sistemas de alimentación, bebederos, incrustaciones de arena de moldeo, rebabas, entre otras discontinuidades en las superficies. El proceso de mecanizado permite eliminar los vertederos, discontinuidades superficiales de la pieza y dejar el elemento a sus dimensiones finales según el diseño planteado con sus respectivos ajustes y acabado superficial (ver anexo 8). En la figura 55 se puede observar una de las cámaras de compresión fundida.



*Figura 55. Cámara de compresión fundida. [Fuente propia]*

El posicionamiento de la cámara en el Torno CNC se desarrolló de forma manual, el trabajo es similar al de un torno convencional, esto se lo realiza con el fin de encontrar el centro del eje en la fundición, una vez realizado dicho proceso se da inicio el proceso de mecanizado a través de código G, a través del controlador FANUC, donde se considera los siguientes pasos:

- ✓ Centrar el elemento a mecanizar en el mandril.
- ✓ Generar el código G (verificar el código en un software de simulación).
- ✓ Determinar la herramienta a utilizar con su respectiva velocidad de corte y avance.
- ✓ Definir el cero pieza.
- ✓ Colocar su cero máquina.
- ✓ Introducir el código G o importar el código.
- ✓ Correr el programa en el controlador.
- ✓ Observar el mecanizado durante todo el proceso, en caso de colisión detener el equipo por emergencia.

El mecanizado empieza con la extracción del sistema de alimentación y bebederos, se procede a retirar con el uso de una amoladora y un disco de corte, como se observa en la figura 56.



*Figura 56. Extracción de bebederos y sistema de alimentación. [Fuente propia]*

Se procede a montar las válvulas en el torno CNC para realizar las operaciones de mecanizado, aquí se realizan actividades de cilindrado interior de las acometidas de ingreso y salida, esto tiene como finalidad obtener superficies lisas y dimensiones acorde a las requeridas para el montaje. (Figura 57)



*Figura 57. Cilindrado interior. [Fuente propia]*

Por consiguiente, se montan las válvulas en la fresadora CNC para realizar actividades de cilindrado exterior tanto de la base de anclaje al block, como de las acometidas de succión y descarga de las cámaras. (Figura 58)



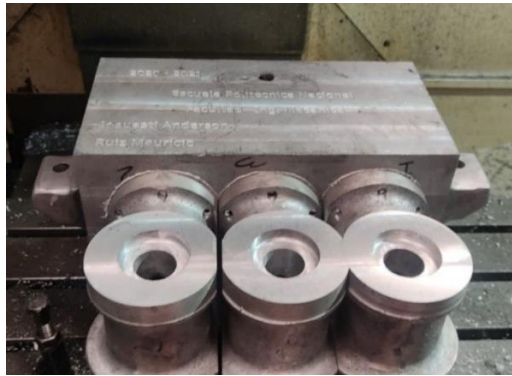
*Figura 58. Cilindrado exterior de la base y acometidas de succión y descarga. [Fuente propia]*

A continuación, se realiza el planeado de las caras planas de las cámaras. Esto con la finalidad de obtener caras planas y a su vez en el ensamble estas puedan acoplarse manteniendo paralelismo respecto a la superficie de acople. (Figura 59)



*Figura 59. Planeado de las caras planas de las cámaras. [Fuente propia]*

En la figura 60 se muestran las caras de descarga planeadas.



*Figura 60. Caras de descarga planeadas. [Fuente propia]*

Luego de realizar las actividades de mecanizado anteriormente mencionadas se realiza la perforación de las válvulas, estas perforaciones son para permitir el anclaje y ajuste de las válvulas con la estructura de la bomba. (Figura 61)



*Figura 61. Perforado de las cámaras de compresión. [Fuente propia]*

Para el mecanizado de las cámaras de compresión de la bomba triplex se utilizaron las siguientes máquinas herramientas, se empleó un torno CNC y centro de mecanizado CNC. El proceso de mecanizado se realizó en la empresa PREINDEC S. A., en el anexo 9 se detallan las características técnicas de cada equipo.

### 3.4.1. Torno CNC DMTG CKE 6136Z

El torno CNC empleado para el mecanizado de la cámara de compresión, es la DMTG CKE6136Z es una máquina herramienta de procedencia China. (Tabla 17) (Figura 62)

Tabla 17. Especificaciones del torno CNC DMTG 6136Z.

<b>Capacidad</b>	
Avance longitudinal máximo en el carro	360 mm
Avance transversal máximo en el carro	300 mm
Giro máximo sobre deslizamiento transversal	180 mm
Longitud máxima de la pieza de trabajo	750 / 1000 mm
<b>Desplazamiento</b>	
Eje X	205 mm
Eje Z	620 / 870 mm
<b>Porta herramientas</b>	
Número de herramientas en la estación	4
Eje	Vertical
Tiempo de cambio de la porta herramienta	2.4 s
<b>Precisión</b>	
Precisión de posicionamiento, eje X	0.0112 mm
Precisión de posicionamiento, eje Z	0.0147 mm
Repetibilidad, eje X	0.0043 mm
Repetibilidad, eje Z	0.0058 mm
Repetibilidad de la porta herramienta	0.008 mm



Figura 62. Torno CNC DMTG 6136Z. [Fuente propia]

### 3.4.2. Centro de mecanizado vertical DMTG VDL – 1000

Se emplea el centro de mecanizado CNC VDL – 1000 para generar desbaste entre las caras de la cámara de compresión y maquinado entre las cámaras para poder ensamblar en la extensión de la bomba. La DMTG VDL – 1000 es un equipo de procedencia china. (Tabla 18) (Figura 63)

Tabla 18. Especificaciones del centro de mecanizado DMTG VDL - 1000.

<b>Capacidad de la mesa</b>	
Medidas de mesa	1120 x 560 mm
Peso de la mesa	750KG
<b>Desplazamiento de la mesa</b>	
Eje X	1020 mm
Eje Y	560 mm
Eje Z	600 mm
<b>Porta herramienta</b>	
Numero de herramientas en la estación	20 unidades
Avance del maquinado	1 – 10 m/minuto
<b>Precisión</b>	
Precisión de posición eje X	0.0255 mm
Precisión de posición eje Y	0.0200 mm
Precisión de posición eje Z	0.0200 mm
Precisión del posicionamiento	0.008 mm



Figura 63. Centro de mecanizado DMTG VDL-1000. [Fuente propia]



### **3.4.3. Cortadora de Sierra Cinta OPTIMUM S 275 NV 230 V.**

Para retirar el sistema de alimentación de las piezas se emplea la cortadora de sierra cinta OPTIMUM 275 NV 230V, esta máquina herramienta permite cortar con una mayor exactitud y precisión de una forma semiautomática. En la figura 64 se puede observar el corte del sistema de alimentación de una de las cámaras.



*Figura 64. Corte del sistema de alimentación de la cámara de compresión. [Fuente propia]*

### **3.4.4. Soldadora INVERTER MIG-MAG SYNSTAR 200 M SYNERGY-PULSE**

Para tener un buen acople de las cañerías de descarga con las cámaras de compresión, se desoldaron los ductos con la ayuda de una amoladora de mano y para volver a unir los acoples de la tubería de descarga se emplea la suelda INVERTER. En la figura 65 se puede observar la tubería de descarga desoldada.



*Figura 65. Tubería de descarga desoldada. [Fuente Propia]*

Para el mecanizado de las cámaras de compresión y ciertos componentes de la bomba se emplean las máquinas herramientas mencionadas, las cuales presentan un controlador FANUC Series oi-TF. Se ve la necesidad de emplear código de G de programación y así lograra los acabados y geometría definida en el rediseño, para ello se emplea programación para elementos de mecanizado interno.

### **3.5. MANTENIMIENTO DE LOS COMPONENTES.**

Una vez obtenidas las válvulas mediante el proceso de fundición y a su vez realizadas las actividades de mecanizado que estas requieran, se debe realizar el mantenimiento de todas las partes que conforman la bomba trípex para luego proceder a el ensamble de las cámaras y el resto de los componentes que conforman la bomba, este mantenimiento es importante para asegurar el buen funcionamiento del equipo, a continuación, se describen las actividades a realizar en cada elemento.

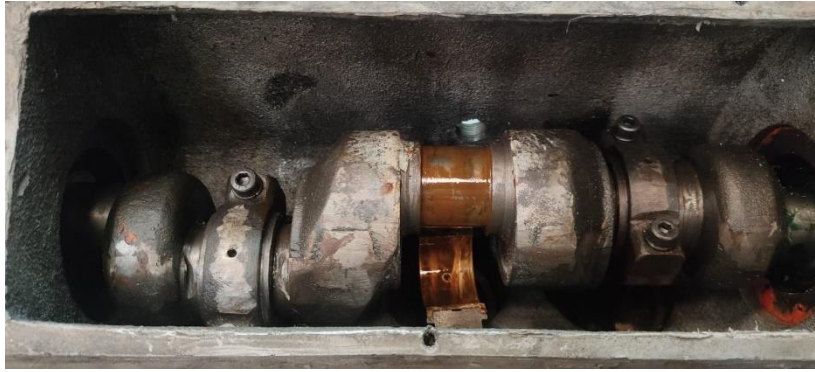
Una vez desarmadas las cañerías de ingreso y salida de agua en conjunto con las válvulas, se procede a desarmar el block para poder realizar el mantenimiento de las bridas, cigüeñal, pistones, limpieza del block. (Figura 66)



*Figura 66. Desmontaje del block de la bomba. [Fuente propia]*

#### **3.5.1. Limpieza del cigüeñal:**

El cigüeñal es un elemento mecánico que permite transformar el movimiento circular en lineal, es por ello que, debe permanecer lubricado y en lo posible libre de impurezas. Se procedió a desmontar del block para realizar actividades de limpieza para luego lubricar, la limpieza se realizó utilizando gasolina esto se puede observar en la figura 67 y 68.



*Figura 67. Cigüeñal con óxido por falta de lubricación. [Fuente propia]*



*Figura 68. Limpieza de cigüeñal con gasolina. [Fuente propia]*

### **3.5.2. Limpieza de pistones y accesorios.**

Se realiza el desmontaje de los pistones para verificar que no tengan rayones, también se realiza la limpieza de estos utilizando gasolina, se separan los pistones en conjunto con las bielas del cigüeñal para poder limpiar las chaquetas que hacen de pivote entre la biela y el cigüeñal. Los pistones se encuentran en excelentes condiciones por lo que no es necesario rectificar. (Figura 69)



*Figura 69. Pistones desarmados y limpios. [Fuente propia]*

### **3.5.3. Limpieza del Block**

Se realiza la limpieza del block utilizando una pulidora para desprender todos los residuos de pegamento, también se realiza la limpieza de las superficies externas, luego se sopletea las cavidades internas del block para garantizar que no tenga impurezas, estas actividades de limpieza tienen como finalidad evitar la contaminación del lubricante. (Figura 70 y 71)



*Figura 70. Limpieza superficial utilizando pulidora. [Fuente propia]*



*Figura 71. Block terminado. [Fuente propia]*

#### **3.5.4. Rectificación de cabezote**

Una vez extraído el cabezote se procede a rectificar, ya que las perforaciones donde se anclan las válvulas no tienen las mismas dimensiones, se miden las tres perforaciones y se toma como referencia la más grande, a continuación, se procede a realizar el mecanizado de las dos perforaciones menores para luego obtener diámetros iguales. (Figura 72)



*Figura 72. Rectificación de las perforaciones que se unen con el block. [Fuente Propia]*

También se realiza el planeado de la superficie superior, esto con el fin de garantizar un acople paralelo entre cara y cara, el planeado realizado fue un desbaste de 1 mm en toda la superficie.

# CAPÍTULO IV

## 4. RESULTADOS

Los resultados obtenidos en el presente trabajo de titulación se basan en 3 parámetros importantes, estos son:

- ✓ Obtención de las cámaras mediante el proceso de fundición.
- ✓ Rediseño de las cámaras.
- ✓ Pruebas de funcionamiento.

A continuación, se procede a describir los resultados obtenidos por cada parámetro mencionado anteriormente.

### 4.1. ANALISIS DE RESULTADOS

#### *4.1.1. Obtención de las cámaras mediante el proceso de fundición.*

Mediante el proceso de fundición por molde de arena verde se obtuvieron las tres cámaras de compresión, el proceso de fundición comprende desde la selección de la materia prima hasta la obtención de las cámaras fundidas. El material seleccionado fue la aleación de aluminio silicio debido a sus múltiples ventajas sobre la aleación de bronce utilizada en trabajos de titulación anteriores. Una vez obtenidas las cámaras, se realizó una inspección visual para constatar que las cámaras no presentes defectos tales como, poros, rechupes, agrietamientos, juntas frías, falta de fusión, entre otros, en dicha inspección no se observaron ninguno de los defectos mencionados.

Sin embargo, las válvulas presentaron discontinuidades superficiales tales como, rebabas e incrustaciones de arena las mismas que durante el proceso de mecanizado fueron removidas.

#### *4.1.2. Rediseño de las cámaras.*

El rediseño de las tres cámaras de presión comprende desde el modelado CAD hasta el mecanizado posterior a la fundición. El modelado CAD permitió previsualizar cada una de las modificaciones consideradas para este trabajo de titulación, una vez obtenidos los sólidos del nuevo diseño se procedió a dar paso al mecanizado, obteniendo así las tres cámaras modificadas acorde al rediseño mencionado.

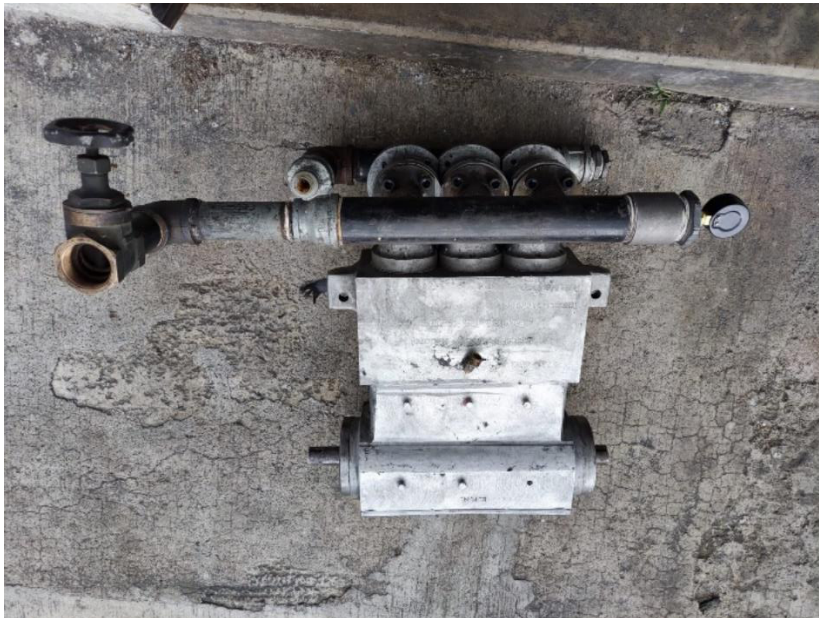
Las modificaciones se realizaron tanto en la acometida de succión como en la de descarga de las tres válvulas, en la acometida de descarga se realizó un cilindrado interno de diámetro igual a 35mm y profundidad de 15 mm con el objetivo de que la base de la válvula de descarga se acople a la cámara y formen un único cuerpo, mientras que, en la acometida de succión se realizó un cilindrado

interno de 35 mm pero con profundidad de 5 mm debido a que la sección de succión tiene una geometría cónica y esto imposibilita aumentar la profundidad de desbaste.

#### **4.1.3. Pruebas de funcionamiento.**

Las pruebas de funcionamiento se establecieron en dos partes, la primera consistió en probar el mecanismo de la bomba sin utilizar agua como fluido de trabajo y sin conectar a ningún elemento externo que permita dar energía a todo el sistema, esto con el propósito de observar que el mecanismo tenga un movimiento sin vibraciones o remordeduras al efectuar el accionamiento, el modo de prueba del mecanismo se lo realizó con el solo movimiento giratorio del cigüeñal de manera manual, obteniendo un movimiento suave .

La bomba tríplex ensamblada se puede apreciar en la figura 73, donde todos sus componentes se encuentran listos para realizar las pruebas de funcionamiento.



*Figura 73. Bomba tríplex ensamblada. [Fuente propia]*

En la segunda parte, ya con la bomba conectada a una fuente de agua, se montó el mecanismo en un torno con la ayuda de un tecele, véase figura 74, una vez posicionado en el torno se precede a dar revoluciones para que este transmitiera el movimiento hacia el cigüeñal de la bomba y a su vez este transmita energía al fluido mediante el movimiento lineal de los pistones, ver figura 75, obteniendo los siguientes resultados de la tabla 19.



Figura 74. Montaje de la bomba en el torno con ayuda de un tecla. [Fuente Propia]



Figura 75. Bomba montada en el torno. [Fuente propia]

Tabla 19. Presión de bombeo a distintas RPM. [Fuente propia]

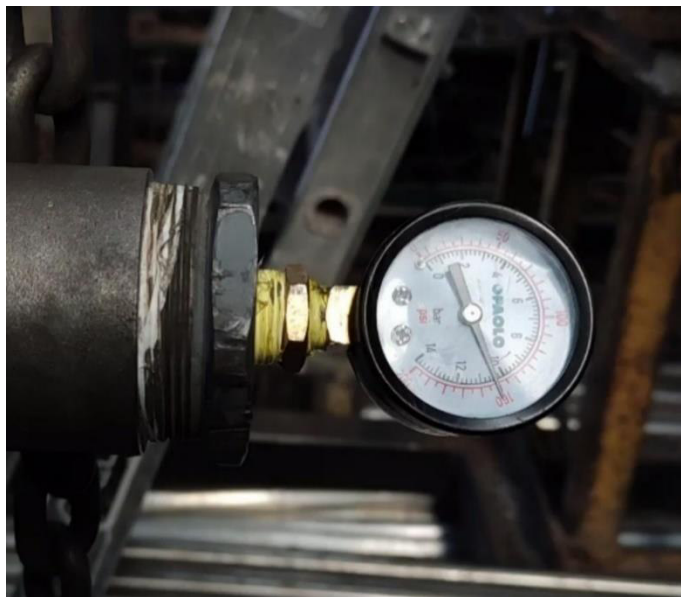
Prueba N°	Revoluciones	
	[RPM]	Presión [PSI]
1	5	2.5
2	30	28
3	60	75
4	100	110
5	120	130
6	130	145
7	140	160



## 4.2. ANALISIS DE FUNCIONAMIENTO

Durante el funcionamiento de la bomba se presentaron algunos contratiempos, uno de ellos fue una fuga de agua al momento de aplicar los 5 rpm, esto debido a que los pernos de ajuste de la acometida de succión no se encontraban apretados. El funcionamiento de la bomba en el rango de 30 a 120 rpm no presentó ningún inconveniente, pero la lectura en el manómetro era variante.

Luego se procede a subir a 130 rpm obteniendo una presión de 145 psi sin presencia de fugas en ninguna parte de la bomba ni de las cámaras, al incrementar a 150 rpm la presión alcanzada fue de 160 psi superando la presión alcanzada en trabajos de titulación anteriores, pero debido a la fricción del eje de acero inoxidable con los retenedores plásticos se originó una fuga de agua hacia el cuerpo de la bomba ya que los retenedores fallaron, es por ello que ya no se pudo incrementar las rpm de trabajo. Durante todos los incrementos de rpm las cámaras no presentaron ningún tipo de fugas y soportaron una presión de 160 psi. Véase figura 76.



*Figura 76. Prueba de funcionamiento a 160 RPM. [Fuente propia]*

# CAPÍTULO V

## 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 5.1. CONCLUSIONES

La sustitución de la aleación de bronce al aluminio por la de aluminio silicio fue efectiva, ya que se obtuvieron las tres cámaras de presión con un peso aproximado de 3 kg por cámara, a diferencia que en la aleación de bronce donde estas pesaban 9 kg cada una, lo cual es una ventaja al momento de manipular durante el proceso de maquinado.

Las propiedades de las aleaciones de aluminio silicio poseen ciertas ventajas sobre las aleaciones de cobre, siendo una de las más importantes la relación de masa/volumen, ya que con el mismo volumen se obtuvieron cámaras de aluminio silicio aproximadamente cuatro veces menor en peso a las de aleación de cobre.

Se logró obtener una presión de bombeo mayor a la de trabajos de titulación anteriores sin que las cámaras lleguen al fallo, sin embargo, los retenedores de la cámara no soportaron la fricción originada por el eje impidiendo que se pueda incrementar el rpm para alcanzar presiones mayores.

Se logró poner en funcionamiento a la bomba tríplex con las nuevas cámaras, obteniendo una presión máxima de bombeo de 160 psi a 140 rpm.

Durante la prueba de funcionamiento las cámaras de presión no presentaron fugas en los acoples de succión y descarga de agua, por lo tanto, se puede decir que el rediseño de los mismos fue efectivo.

Un buen sistema de alimentación en el noyo, permitió tener una buena fundición de las cámaras de presión, eliminando defectos de fundición como poros en la parte interna del elemento, eliminado uno de los mayores defectos en proyectos de titulación anteriores.

El mantenimiento realizado a los componentes de la bomba permitió que se facilite el ensamble de los componentes y que las pruebas de funcionamiento no presenten inconvenientes tales como, abolladuras, desalineamientos, vibraciones.

## **5.2. RECOMENDACIONES**

Se recomienda realizar otro modelo de las cámaras con otro diseño, ya que el actual esta sobredimensionado y hace que una vez maquinadas las cámaras se deban cortar en los extremos para que estas puedan ser ensambladas en el cuerpo de la bomba.

Se recomienda cambiar las válvulas de succión y descarga, debido a que las actuales son fabricadas artesanalmente, se requiere que la apertura y cierre de estas sea preciso.

Se sugiere probar el mecanismo de forma manual antes de montar en el torno, esto con la finalidad de prever vibraciones o desalineamientos, especialmente en el cigüeñal.

Se recomienda utilizar retenedores de mayor resistencia para futuras pruebas de funcionamiento, pues las utilizadas en este trabajo generaron fugas de agua debido a que fallaron y por ende pérdida de presión.

Finalmente, se recomienda que las pruebas de funcionamiento sean realizadas con otro sistema impulsor, ya que en el torno es peligrosos su montaje e incluso la puesta en marcha del mismo, se podría optar por conectar a la bomba a un motor de tal forma que la bomba se pueda fijar de mejor manera.

## BIBLIOGRAFÍA

- [1] J. Carlos and B. Calderón, “Balance energético Nacional 2020.” [Online]. Available: [www.rekursosyenergia.gob.ec](http://www.rekursosyenergia.gob.ec)
- [2] Schlumberger, “JET Módulo 2 Bombas Triplex,” *JET 2 - Bombas Triplex*, vol. Volumen 1.
- [3] N. Chavez, “Datos Técnicos De Hidráulica Bombas,” *Datos Técnicos De Hidráulica Bombas*, p. 136, 1979.
- [4] E. C. R. J. JOSE LUIS VILLAGOME GARCIA and México D F, “Universidad Nacional Autónoma De Mexico,” *Tesis*, pp. 1–61, 2001.
- [5] L. Claudio, “CONSTRUCCIÓN Y ANÁLISIS DEL FUNCIONAMIENTO DE UNA BOMBA RECIPROCANTE DE TRIPLE ÉMBOLO,” *ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL*, p. 131, 2018.
- [6] Z. Ramírez, “Generalidades de las bombas”.
- [7] F. Roca, “Oleohidráulica Básica,” *Grupo Editorial Alfa Omega S.A*, p. 22.
- [8] R. Solorzano, *Principios Ingenieriles Basicos-Bombas Hidráulicas*. 2016.
- [9] J. Carrión and G. Jaya, “ANÁLISIS Y REDISEÑO DEL SISTEMA DE REINYECCIÓN DE CRUDO PARA EL CAMPO CUYABENO Y SANSAHUARI PERTENECIENTES AL ÁREA CUYABENO,” 2011.
- [10] D. Ramirez, “ELABORACIÓN DE UN MANUAL DE CALIBRACIÓN DE BOMBA ROTATIVA TIPO VE DE CUATRO ELEMENTOS EN EL BANCO DE CALIBRACIÓN DE BOMBAS A DIÉSEL COM-EMC,” 2017.
- [11] N. Miranda, “ANÁLISIS DE LA NORMATIVA PERTINENTE PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE UN MANUAL DE INSPECCIÓN Y MANTENIMIENTO DE LAS BOMBAS DE LODOS USADAS EN EL PROCESO DE PERFORACIÓN DE POZOS PETROLEROS EN LA INDUSTRIA HIDROCARBURÍFERA DEL ECUADOR,” *Universidad tecnológica equinoccial*, p. 114, 2014.
- [12] M. Quisnancela, “ANÁLISIS DE LOS PROCEDIMIENTOS DE CONTROL DE POZOS EN OPERACIONES DE REACONDICIONAMIENTO REALIZADAS EN POZOS PETROLEROS DEL DISTRITO AMAZÓNICO PROYECTO,” 2014.
- [13] A. Gudiño and R. Vásquez, “ELABORACION DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO PARA LAS BOMBAS TRIPLEX DE PROPIEDAD DE BJ SERVICES ECUADOR,” 2008.
- [14] C. Castro, “Construccion De Un Molde Metalico (Coquilla) Con Noyo Para La Fundician De Aleaciones De Aluminio,” 2012.
- [15] Roque. Intelángelo and Alberto. Benato, “Fundición y Moldeo Taller II,” *Universidad Nacional del Rosario*, pp. 1–30, 2018.

- [16] w Hufnagel and P. Coca, “Aluminio y sus aleaciones,” Argentina , 2008.
- [17] W. Smith, “Fundamentos de la Ciencia e Ingeniería de Materiales,” *Mc Graw Hill*, p. 1429, 1998.
- [18] A. W. Brace, ““Surface treatment and finishing of aluminium,”” *British Corrosion Journal*, vol. 23, no. 3, pp. 156–166, 1988, doi: 10.1179/000705988798270884.
- [19] D. Gonzáles, “MODIFICACIÓN SUPERFICIAL DE ALEACIONES DE ALUMINIO MEDIANTE IMPACTO CÍCLICO PARA LA MODIFICACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS Y TRIBOLÓGICAS,” 2014.
- [20] R. Palas, “RECONOCIMIENTO DE FASES EN ALEACIONES DE ALUMINIO EN ESTADO MODELADO,” 2012.
- [21] J. Nañez, “COMPORTAMIENTO DE UNA ALEACION DE ALUMINIO TRATADA TERMICAMENTE BAJO CARGA DE COMPRESION,” 1998.
- [22] J. Caluguillin and P. Lema, “Estudio y obtención de una aleación liviana para la fabricación de un bloque de motor de combustión interna de dos tiempos.,” 2009.
- [23] F. Delgado, “Fabricación y caracterización de la aleación de aluminio reciclado con adición de silicio particulado,” 2016.
- [24] G. Barona López and E. Velasteguí López, “Materiales de aleación aluminio-silicio aplicados en la fabricación de partes de motores de combustión interna alternativos Parte II,” *ConcienciaDigital*, vol. 3, no. 2, pp. 6–16, 2020, doi: 10.33262/concienciadigital.v3i2.1203.
- [25] M. Rodríguez, “PROCESO DE FUNDICIÓN EN ALUMINIO APLICADO A LA ESCULTURA EN LA FACULTAD DE ARTES DE LA UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR Equipamiento, Materiales, Herramientas y Moldes de Arena Refractaria,” 2015.
- [26] J. Cangás and E. Valverde, “ESTUDIO DEL PROCESO DE SOLIDIFICACIÓN EN FUNDICIÓN DE ALUMINIO PARA BRAZOS DEL SISTEMA DE FRENO DE UN ASCENSOR, MEDIANTE ELEMENTOS FINITOS,” 2014.
- [27] J. Jacho and L. Padilla, “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,” 2018.
- [28] F. Oviedo and A. Vinuesa, “DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN MOLDE PERMANENTE UTILIZANDO EL SOFTWARE VULCAN,” 2012.
- [29] W. Arias, “Diseño Y Contrucción De Un Equipo Para Colado En Molde Permanente,” vol. 1, p. 144, 2007.

- [30] G. Castro, “Fundiciones,” *DEPARTAMENTO DE INGENIERIA MECANICA F.I.U.B.A.*, p. 25, 2009.
- [31] P. Industriales, “Conformación por Moldeo,” *Escuela Universitaria de Diseño Industrial: Procesos Industriales*, no. I, p. 24.
- [32] J. L. Charco Zambrano, “Fabricación de un prototipo de block de motor de combustión interna de dos tiempos por manufactura aditiva indirecta con una aleación de aluminio al silicio,” *ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL FACULTAD*, p. 92, 2017.
- [33] M. P. Groover, *Fundamentos de manufactura moderna: materiales, procesos y sistemas*. 1997.
- [34] N. Alba, “DISEÑO Y CONSTRCCIÓN DE UNA MÁQUINA SHELL MOLDING,” *CORPORACION UNIVERSITARIA AUTONOMA DE OCCIDENTE DIVISION DE INGENIERIAS*, p. 68, 1989.
- [35] F. Cúñez and S. García, “SELECCIÓN Y FABRICACIÓN EN FUNDICIÓN GRIS DE DOS TIPOS DE QUEMADORES INDUSTRIALES A GAS,” 2012.
- [36] M. Anchaluisa and J. Serrano, “DETERMINACIÓN DEL PROCESO DE PRODUCCIÓN POR FUNDICIÓN DE ANTENAS ALIMENTADORAS DE ENERGÍA PARA EL SISTEMA INTEGRADO TROLEBÚS EN LA CIUDAD DE QUITO,” *ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL*, p. 172, 2012.
- [37] R. Nunes *et al.*, “Properties and Selection: Nonferrous Alloys and Special-Purpose MAterials.”
- [38] M. Palas, “RECONOCIMIENTO DE FASES EN ALEACIONES DE ALUMINIO EN ESTADO MODELADO,” *Universidad de Piura.*, pp. 73–78, Aug. 2012.
- [39] Rheinfelden, “Primary aluminium Casting alloys Value base for processing our Primary aluminium Casting alloys.”
- [40] ESCUELA POLITECNICA NACIONAL, “Análisis de espectrometría por chispa”.
- [41] M. Calderón and J. Flores, “DISEÑO Y FABRICACIÓN DE UN PISTÓN Y UNA CÁMARA DE PRESIÓN DE BRONCE AL ALUMINIO PARA UN PROTOTIPO DE BOMBA RECIPROCANTE,” Quito , 2017.
- [42] M. Groover, “FUNDAMENTALS OF MODERN MANUFACTURING,” *JOHN WILEY & SONS, INC.*, vol. THIRD EDITION, pp. 15–960, 2007.
- [43] J. García, “Estudio de la influencia de diferentes diseños de los sistemas de alimentación y compensación en la fundición en arena,” *ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERIA UNIVERSIDAD DE SEVILLA* , pp. 6–55, 2013.

# **ANEXOS**

# ANEXO 1: Ensayo de espectrometría por Chispa

## Bruker Analysis Report



Sample: Muestra M1

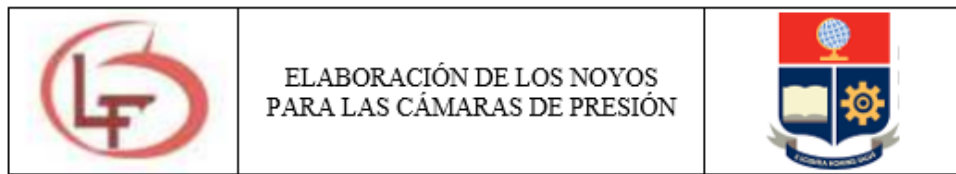
Analysis Time: 04.03.2021 16:03:46

Method: Al120

	<b>Si [%]</b>	<b>Fe [%]</b>	<b>Cu [%]</b>	<b>Mn [%]</b>	<b>Mg [%]</b>
∅	13,69	0,685	1,514	0,035	0,962
	<b>Cr [%]</b>	<b>Ni [%]</b>	<b>Zn [%]</b>	<b>Ti [%]</b>	<b>Pb [%]</b>
∅	0,025	0,952	0,028	0,042	0,0044
	<b>Sn [%]</b>	<b>V [%]</b>	<b>Sr [%]</b>	<b>Zr [%]</b>	<b>Co [%]</b>
∅	<0,0100	0,027	<0,0030	0,023	0,0050
	<b>Ca [%]</b>	<b>Al [%]</b>			
∅	0,0030	81,99			



## ANEXO 2: Elaboración de los noyos para las cámaras de presión.



<b>Solicitado por el director del proyecto:</b>	Ing. Fausto Hernán Oviedo Msc.
<b>Trabajo:</b>	Obtención de los noyos de arena para las cámaras de presión.
<b>Realizado por:</b>	Anderson Insuasti y Mauricio Ruiz

### ÍNDICE

1. OBJETIVO
2. ALCANCE
3. RESPONSABILIDAD
4. DESARROLLO DEL NOYO
  - 4.1 MATERIALES
  - 4.2 EQUIPOS
  - 4.3 INSTRUMENTOS
  - 4.4 REQUERIMIENTOS PREVIOS A LA FABRICACIÓN DEL NOYO
  - 4.5 OPERACIONES SECUENCIALES PARA LA OBTENCIÓN DEL MOLDE



### **1. Objetivo**

Determinar la secuencia de actividades a realizar la fabricación de los noyos, para la fabricación de las cámaras de presión.

### **2. Alcance**

Proceso de obtención de los noyos, donde se utiliza una caja de moldeo para los machos y de igual forma de aglomerantes y estructura interna.

### **3. Responsabilidad**

Los responsables de elaborar los noyos son los encargados de que se cumpla los parámetros establecidos en el documento.

### **4. Desarrollo del noyo**

En el apartado del desarrollo del noyo se describe los materiales, equipos e instrumentos requeridos para la fabricación del mismo, de igual forma se da a conocer la preparación previa a la obtención del macho y los pasos a seguir.

#### **4.1 Materiales**

- ✓ Grafito
- ✓ Mezcla de noyo

#### **4.2 Equipos**

- ✓ Compresor
- ✓ Cilindro de gas y soplete

#### **4.3 Instrumentos**

- ✓ Cajas de moldeo del noyo
- ✓ Pala
- ✓ Lanceta
- ✓ Punzón
- ✓ Martillo
- ✓ Regla metálica
- ✓ Brocha



#### **4.4 Requerimientos previos a la fabricación del noyo**

Para la caja de moldeo se debe realizar previamente los siguiente:

- ✓ Revisar que la caja de machos este de cuerdo a las dimensiones del noyo a fabricar.
- ✓ Se procede a limpiar la caja de moldeo del noyo con un waipe para evitar posibles residuos como mezclas anteriores de moldeo.
- ✓ Limpiar la caja de moldeo para machos con la ayuda de aire comprimido evitando impurezas en su superficie.
- ✓ Colocar grafito en la caja de machos para evitar que la mezcla del noyo se adhiera.
- ✓ Elaborar el alma de los noyos.
- ✓ Realizar la mezcla de los aglomerantes para los machos.

#### **4.5 Operaciones en secuencia para la obtención del noyo**

1. Pesar la cantidad de arena a utilizar e incrementar 50g de arena refractaria, este último valor se considera como perdidas de fabricación, para obtener un buen macho se debe lavar y tamizar la arena refractaria.
2. Pesar las cantidades de resinas y el catalizador en base a la tabla 6 porcentajes para la fabricación de reinas.
3. Preparar la caja de machos.
4. Prepara el alma o refuerzo del macho con alambres de 3mm de diámetro.
5. Mezclar la resina en base de fenólica.
6. Mezclar la resina en base isocianato en la mezcla.
7. Cuando la mezcla esta homogénea se procede a colocar catalizador y nuevamente mezclar.
8. Colocar la mezcla dentro del molde del macho y distribuirla.
9. Dejar reposar un lapso de 15 a 20 minutos para su secado.
10. Finalmente se procede a retirar el macho del molde.
11. Adicionalmente se deja reposar el macho por dos días para dar seguridad de que el noyo se encuentre seco o a su vez se puede secar el macho con un soplete.

## ANEXO 3: Calculo del sistema de alimentación

Anexo II. Calculo del sistema de alimentación para la cámara de compresión de una bomba triplex.

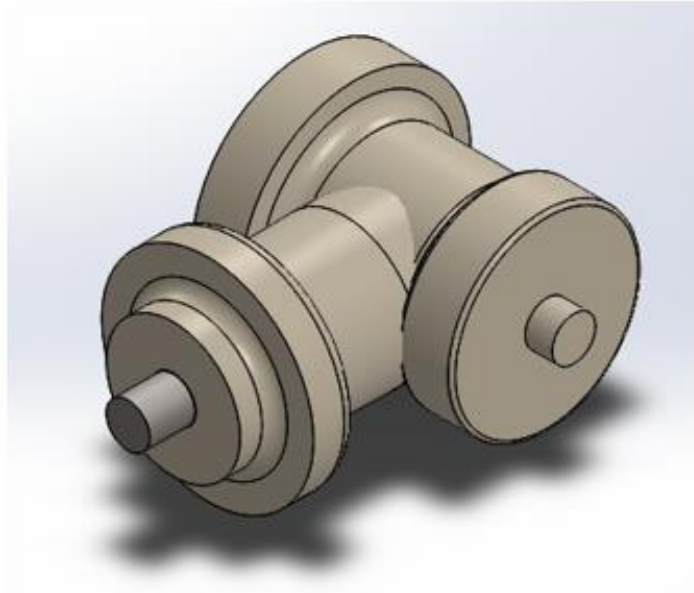


Figura 1. Pieza para fundir. [Fuente propia]

### VELOCIDAD DE VERTIDO

En base a las dimensiones de la caja de moldeo se obtiene los valores de  $h_1 = 25 \text{ mm}$  y para  $h_2 = 87 \text{ mm}$ . Para el cálculo de la velocidad de vertido se emplea la ecuación 1 [1].

$$V = \sqrt{2 * g * h_2} \quad (1)$$

Donde:

$g$  : Gravedad [9.813 m/s]

$h_2$  : Altura de una de la caja de moldeo [m].

$V$  : Velocidad vertido.

$$V = \sqrt{2 * 9.813 * 0.087}$$

$$V = 1.3 \left[ \frac{m}{s} \right]$$

Para el cálculo del bebedero se toma en cuenta los puntos que se observa en la figura 2.

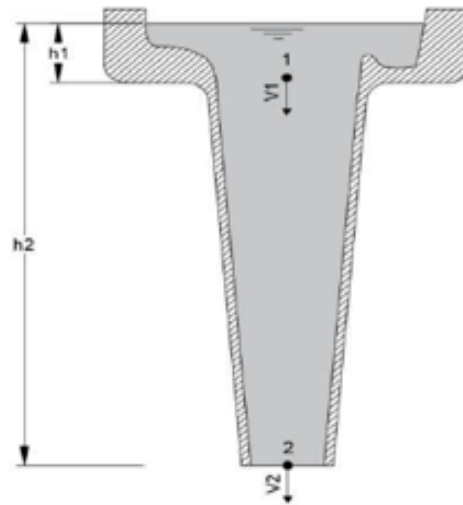


Figura 2. Puntos y altura para el cálculo del bebedero [1].

### Tiempo de llenado

El tiempo de llenado de la pieza a obtener se calcula con la ecuación 2 de Mikhailov, para dicho cálculo se requiere de unas constantes de la tabla 1.

$$T = A * \delta^m * M^n \quad (2)$$

Donde:

$T$  : Tiempo de llenado [s].

$\delta$  : espesor mínimo del a pieza [mm],  $\delta = 25 \text{ mm}$ .

$M$  : Peso de la pieza en Kg donde,  $M = 3 \text{ Kg}$ .

$A, m$  y  $n$  : Constantes que varían conforme al material que se encuentra trabajando.

Tabla 1. Valores de las constantes  $A, m$  y  $n$  [1].

Metal	A	M	n
Acero	1,5	0,21	0,34
Hierro Gris	0,76	0,23	0,5
Hierro Maleable	1,89	0,43	0,5
Hierro nodular	0,97	0	0,5
Aleaciones de aluminio	1,7	0,334	0,334
Bronce	0,8	0,3	0,6
Aleaciones de magnesio	2,3	0,334	0,334

$$T = 1.7 * 25^{0.334} * 3^{0.334}$$

$$T = 7.19 \text{ [s]}$$

### Altura efectiva de colada del bebedero

Para el cálculo de la altura efectiva de colado se emplea la ecuación 3, las variables que intervienen en sistema de alimentación para el llenado del molde de arena se pueden observar en la figura 3.

$$H = \frac{2(h+c)-p^2}{2+c} \quad (3)$$

Donde:

$h$  : Altura de una de la caja de moldeo [cm],  $h = 8.7$  cm.

$p$  : Radio de la pieza a fundir [cm],  $p = 5.2$  cm.

$c$  : Diámetro de la pieza a fundir [cm],  $c = 10.4$  cm.

$H$  : Altura efectiva de colada del bebedero [cm].



Figura 3. Salto efectivo según la forma de llenado del molde [1].

$$H = \frac{2(8.7 * 10.4) - 5.2^2}{2 * 10.4}$$

$$H = 7.40 \text{ cm}$$

### Diámetro de la base del bebedero

Para el cálculo del diámetro del bebedero se emplea el teorema de Bernoulli, de igual forma para los demás ductos, para dichos cálculos se emplea la ecuación 4. El teorema de Bernoulli tiene como principio la conservación de la energía, relación de presión y pérdidas de fricción [2].

$$M_{total} = \sqrt{2 * g * h_2} * A_{beb_i} * \rho * T * c \quad (4)$$

Donde:

$M_{total}$  : Peso en Kg.

$A_{beb\_i}$  : Área de bebedero inferior [ $m^2$ ].

$g$  : Gravedad [ $\frac{m}{s^2}$ ].

$h_2$  : Altura de una de la caja de moldeo [m].

$\rho$  : Densidad [ $\frac{Kg}{m^3}$ ].

$c$  : Diámetro de la pieza a fundir [m]

$T$ : Tiempo de llenado [s]

$$A_{beb\_i} = \frac{M_{total}}{\sqrt{2 * g * h_2 * \rho * T * c}}$$

$$A_{beb\_i} = \frac{3}{\sqrt{2 * 9.813 * 0.092 * 2700 * 7.19 * 0.104}}$$

$$A_{beb\_i} = 0.00110582 \text{ m}^2$$

$$A_{beb\_i} = 1105.82 \text{ mm}^2$$

A partir de la ecuación del área de un círculo siendo la ecuación 5, se despeja el diámetro.

$$A_{beb\_i} = \pi * \frac{D_{beb\_i}^2}{4} \quad (5)$$

$$D_{beb\_i} = \sqrt{\frac{A_{beb\_i} * 4}{\pi}}$$

Donde:

$A_{beb\_i}$  : Área de bebedero inferior  $mm^2$ .

$D_{beb\_i}$  : Diámetro de bebedero inferior  $mm$ .

$$D_{beb\_i} = \sqrt{\frac{1105.82 * 4}{\pi}}$$

$$D_{beb\_i} = 37.52 \text{ mm}$$

El cálculo del diámetro superior del bebedero, se emplea la ley de continuidad de la masa, donde se utiliza la ecuación 6 [2].

$$v_1 * A_1 = v_2 * A_2 \quad (5)$$

$$\frac{v_1}{v_2} = \frac{A_2}{A_1}$$

$$\frac{\sqrt{2 * g * h_1}}{\sqrt{2 * g * h_2}} = \frac{\pi \left(\frac{D_{beb_s}}{2}\right)^2}{\pi \left(\frac{D_{beb_i}}{2}\right)^2}$$

$$D_{beb_s} = D_{beb_i} * \sqrt[4]{\frac{h_2}{h_1}}$$

Donde:

$D_{beb_s}$  : Diámetro del bebedero superior [mm].

$D_{beb_i}$  : Diámetro del bebedero inferior [mm].

$h_2$  : Altura de una de la caja de moldeo [mm]

$$D_{beb_s} = 37.52 * \sqrt[4]{\frac{92}{25}}$$

$$D_{beb_s} = 71.98 \text{ mm}$$

#### Taza de colado

Para el calculo de la taza de colado, tomamos en cuenta la figura #, para obtener relacionar la taza de colado con la del diámetro de bebedero.

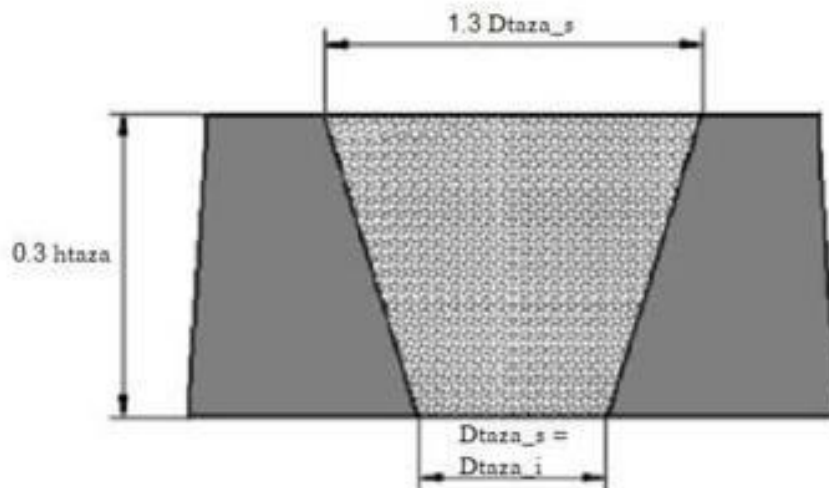


Figura 4. Dimensionamiento de la taza de colado [1].

Se conoce que el diámetro de la taza inferior es igual al diámetro del bebedero superior [1].

$$D_{beb_s} = D_{taza_i} \quad (6)$$

$$D_{taza_s} = 1.3 * D_{taza_i} \quad (7)$$



Donde:

$D_{taza_i}$  : Diámetro de la taza de colado inferior.

$D_{taza_s}$  : Diámetro de la taza de colado Superior.

$$D_{taza_i} = 71.98 \text{ mm}$$

$$D_{taza_s} = 1.3 * 71.98$$

$$D_{taza_s} = 93.57 \text{ mm}$$

### Pozo de colado

El calculo del pozo de colado se realiza a través de los parámetros que se detallan en la figura 5, la ecuación 8 y ecuación 9 [3].

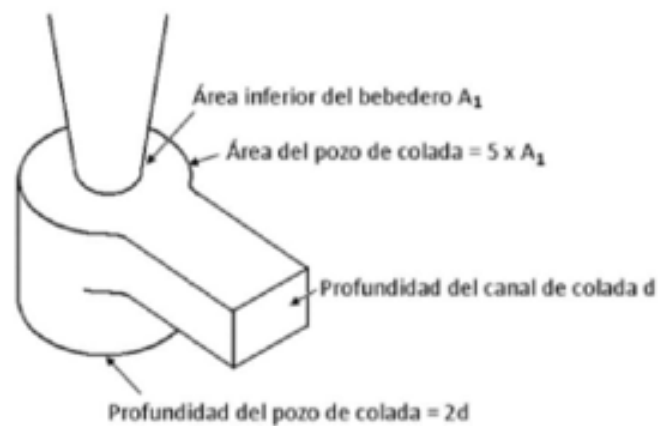


Figura 5. Dimensiones del pozo de colado [1].

$$A_{pozo} = 5 * A_{beb_i} \quad (8)$$

$$\pi \left( \frac{D_{pozo}}{2} \right)^2 = 5 * \pi * \left( \frac{D_{beb_i}}{2} \right)^2$$

$$D_{pozo} = \sqrt{5} * D_{beb_i}$$

$$h_{pozo} = 2 * h_{c\_colado} \quad (9)$$

Donde:

$A_{pozo}$  : Área del pozo de colado [ $mm^2$ ].

$A_{beb_i}$  : Área del bebedero inferior [ $mm^2$ ].

$D_{pozo}$  : Diámetro del pozo [ $mm$ ].

$h_{pozo}$  : Altura del pozo [ $mm$ ].

$h_{c\_colado}$  : Altura del canal del colado [ $mm$ ]

$$D_{pozo} = \sqrt{5} * 37.52$$

$$D_{pozo} = 83.9 \text{ mm}$$

$$h_{pozo} = 41.9 \text{ mm}$$

### Alimentador

El cálculo de colado de los alimentadores se realiza en base al diámetro del bebedero inferior, se combina la ecuación 5 en la ecuación 10, al despejar el diámetro se obtiene el diámetro del alimentador [3].

$$A_{c\_colado} = A_{beb_i} \quad (10)$$

$$A_{beb_i} = \pi * \left(\frac{D_{beb_i}}{2}\right)^2$$

$$D_{alimentador} = \sqrt{\frac{A_{beb_i} * 4}{\pi}}$$

Donde:

$A_{c\_colado}$ : Área del canal de colado [ $mm^2$ ].

$A_{beb_i}$  : Área del bebedero inferior [ $mm^2$ ].


$D_{beb_i}$  : Diámetro del bebedero inferior [ $mm$ ].

$D_{alimentador}$  : Diámetro del alimentador [ $mm$ ].

$$D_{alimentador} = \sqrt{\frac{1105.82 * 4}{\pi}}$$

$$D_{alimentador} = 37.5 \text{ mm}$$

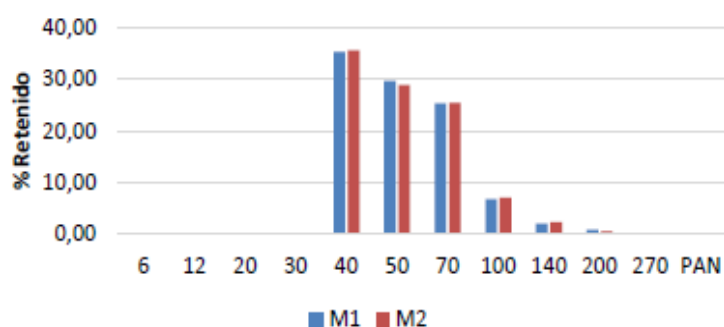
## ANEXO 4: Análisis granulométrico de la arena de moldeo

	ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO	Código: LB-09-18																																																																							
		Versión: Primera																																																																							
NUMERO DE INFORME: LB-09-18/169 SOLICITADO POR: Anderson Insuasti <span style="float: right;">CORREO: aeinsuasti@hotmail.com</span> FECHA: 08/09/2021 TIPO DE MATERIAL: Arena Nueva Sierra Central, tomada del mezclador Spartan el día 07/09/2021																																																																									
<b>RESULTADOS</b>																																																																									
<table border="1"> <tr> <th colspan="2">Peso de la Muestra</th> </tr> <tr> <td>M1 (gr)</td> <td>M2 (gr)</td> </tr> <tr> <td>50</td> <td>50,01</td> </tr> </table>				Peso de la Muestra		M1 (gr)	M2 (gr)	50	50,01																																																																
Peso de la Muestra																																																																									
M1 (gr)	M2 (gr)																																																																								
50	50,01																																																																								
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Malla</th> <th>M1 Peso Retenido Ws (gr)</th> <th>M2 Peso Retenido Ws (gr)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>6</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>12</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>20</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>30</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>40</td><td>17,56</td><td>17,71</td></tr> <tr><td>50</td><td>32,34</td><td>32,08</td></tr> <tr><td>70</td><td>44,94</td><td>44,73</td></tr> <tr><td>100</td><td>48,31</td><td>48,26</td></tr> <tr><td>140</td><td>49,35</td><td>49,42</td></tr> <tr><td>200</td><td>49,77</td><td>49,67</td></tr> <tr><td>270</td><td>49,81</td><td>49,78</td></tr> <tr><td>PAN</td><td>49,89</td><td>49,85</td></tr> </tbody> </table>				Malla	M1 Peso Retenido Ws (gr)	M2 Peso Retenido Ws (gr)	6	0	0	12	0	0	20	0	0	30	0	0	40	17,56	17,71	50	32,34	32,08	70	44,94	44,73	100	48,31	48,26	140	49,35	49,42	200	49,77	49,67	270	49,81	49,78	PAN	49,89	49,85																															
Malla	M1 Peso Retenido Ws (gr)	M2 Peso Retenido Ws (gr)																																																																							
6	0	0																																																																							
12	0	0																																																																							
20	0	0																																																																							
30	0	0																																																																							
40	17,56	17,71																																																																							
50	32,34	32,08																																																																							
70	44,94	44,73																																																																							
100	48,31	48,26																																																																							
140	49,35	49,42																																																																							
200	49,77	49,67																																																																							
270	49,81	49,78																																																																							
PAN	49,89	49,85																																																																							
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Malla</th> <th>M1 Peso Retenido Ws (gr)</th> <th>M2 Peso Retenido Ws (gr)</th> <th>M1 Total de Peso Retenido (Ws/Wt) (gr)</th> <th>M2 Total de Peso Retenido (Ws/Wt) (gr)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>6</td><td>0</td><td>0</td><td>0,0000</td><td>0,0000</td></tr> <tr><td>12</td><td>0</td><td>0</td><td>0,0000</td><td>0,0000</td></tr> <tr><td>20</td><td>0</td><td>0</td><td>0,0000</td><td>0,0000</td></tr> <tr><td>30</td><td>0</td><td>0</td><td>0,0000</td><td>0,0000</td></tr> <tr><td>40</td><td>17,56</td><td>17,71</td><td>0,3520</td><td>0,3553</td></tr> <tr><td>50</td><td>14,78</td><td>14,37</td><td>0,2963</td><td>0,2883</td></tr> <tr><td>70</td><td>12,6</td><td>12,65</td><td>0,2526</td><td>0,2538</td></tr> <tr><td>100</td><td>3,37</td><td>3,53</td><td>0,0675</td><td>0,0708</td></tr> <tr><td>140</td><td>1,04</td><td>1,16</td><td>0,0208</td><td>0,0233</td></tr> <tr><td>200</td><td>0,42</td><td>0,25</td><td>0,0084</td><td>0,0050</td></tr> <tr><td>270</td><td>0,04</td><td>0,11</td><td>0,0008</td><td>0,0022</td></tr> <tr><td>PAN</td><td>0,08</td><td>0,07</td><td>0,0016</td><td>0,0014</td></tr> <tr> <td><b>Total Wt=</b></td> <td><b>49,89</b></td> <td><b>49,85</b></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>				Malla	M1 Peso Retenido Ws (gr)	M2 Peso Retenido Ws (gr)	M1 Total de Peso Retenido (Ws/Wt) (gr)	M2 Total de Peso Retenido (Ws/Wt) (gr)	6	0	0	0,0000	0,0000	12	0	0	0,0000	0,0000	20	0	0	0,0000	0,0000	30	0	0	0,0000	0,0000	40	17,56	17,71	0,3520	0,3553	50	14,78	14,37	0,2963	0,2883	70	12,6	12,65	0,2526	0,2538	100	3,37	3,53	0,0675	0,0708	140	1,04	1,16	0,0208	0,0233	200	0,42	0,25	0,0084	0,0050	270	0,04	0,11	0,0008	0,0022	PAN	0,08	0,07	0,0016	0,0014	<b>Total Wt=</b>	<b>49,89</b>	<b>49,85</b>		
Malla	M1 Peso Retenido Ws (gr)	M2 Peso Retenido Ws (gr)	M1 Total de Peso Retenido (Ws/Wt) (gr)	M2 Total de Peso Retenido (Ws/Wt) (gr)																																																																					
6	0	0	0,0000	0,0000																																																																					
12	0	0	0,0000	0,0000																																																																					
20	0	0	0,0000	0,0000																																																																					
30	0	0	0,0000	0,0000																																																																					
40	17,56	17,71	0,3520	0,3553																																																																					
50	14,78	14,37	0,2963	0,2883																																																																					
70	12,6	12,65	0,2526	0,2538																																																																					
100	3,37	3,53	0,0675	0,0708																																																																					
140	1,04	1,16	0,0208	0,0233																																																																					
200	0,42	0,25	0,0084	0,0050																																																																					
270	0,04	0,11	0,0008	0,0022																																																																					
PAN	0,08	0,07	0,0016	0,0014																																																																					
<b>Total Wt=</b>	<b>49,89</b>	<b>49,85</b>																																																																							

Malla	M1 Porcentaje Retenido (%)	M2 Porcentaje Retenido (%)	Factor AFS	M1 (Xi mi)	M2 (Xi mi)
6	0,00	0,00	3	0,00	0,00
12	0,00	0,00	5	0,00	0,00
20	0,00	0,00	10	0,00	0,00
30	0,00	0,00	20	0,00	0,00
40	35,20	35,53	30	1055,92	1065,80
50	29,63	28,83	40	1185,01	1153,06
70	25,26	25,38	50	1262,78	1268,81
100	6,75	7,08	70	472,84	495,69
140	2,08	2,33	100	208,46	232,70
200	0,84	0,50	140	117,86	70,21
270	0,08	0,22	200	16,04	44,13
PAN	0,16	0,14	300	48,11	42,13
	100,00	100,00		4367,01	4372,52
	Total ( $\Sigma Xi$ )			Total ( $\Sigma Xi mi$ )	

Resultados					
M1 [ $\Sigma Xi mi / \Sigma Xi$ ]	M2 [ $\Sigma Xi mi / \Sigma Xi$ ]	Indice de Finura (AFS) Promedio	Tipo de arena	Tamaño (mm)	% Polvo Fino
43,67	43,73	43,70	Media	0,25 - 0,5	0,97

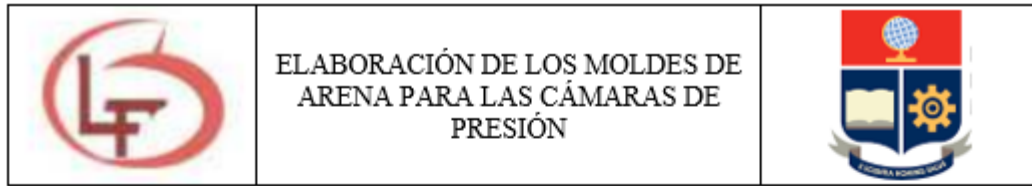
### Distribución Granulométrica



Muestra	Observaciones
Arena Nueva Sierra Central	Su índice de finura (AFS) es de 43,70 lo que indica que es de tipo media ( $35 < x < 60$ ) y su tamaño de grano estará en el rango de 0,25 a 0,5 mm.

**Conclusiones:** La muestra de arena NUEVA SIERRA CENTRAL tomada del mezclador Spartan el día 07/09/2021 se caracterizó por presentar un índice de finura AFS de 43,70 y un porcentaje de polvos finos de 0,97 (mallas 200, 270 y PAN).

## **ANEXO 5: Elaboración de los moldes de arena para las cámaras de presión.**



<b>Solicitado por el director del proyecto:</b>	Ing. Fausto Hernan Oviedo Msc.
<b>Trabajo:</b>	Obtención de los moldes de arena para las cámaras de presión.
<b>Realizado por:</b>	Anderson Insuasti y Mauricio Ruiz

### **ÍNDICE**

- 1. OBJETIVO**
- 2. ALCANCE**
- 3. RESPONSABILIDAD**
- 4. MOLDEO**
  - 4.1 MATERIALES**
  - 4.2 EQUIPOS**
  - 4.3 INSTRUMENTOS**
  - 4.4 REQUERIMIENTOS PREVIOS AL MOLDEO**
  - 4.5 OPERACIONES SECUENCIALES PARA LA OBTENCIÓN DEL MOLDE**

	<p>ELABORACIÓN DE LOS MOLDES DE ARENA PARA LAS CÁMARAS DE PRESIÓN</p>	
---	---	---

### 1. Objetivo

Determinar la secuencia de actividades a realizar para la fabricación de los moldes, empleando el método del molde desechable, donde se utiliza arena de moldeo, para la fabricación de las cámaras de presión.

### 2. Alcance

Proceso de obtención del molde de arena, donde se utiliza una caja de moldeo con su respectivo modelo de la pieza a fundir.

### 3. Responsabilidad

Los responsables de elaborar los moldes de área son los encargados de que se cumpla los parámetros establecidos en el documento.

### 4. Moldeo

En el apartado de moldeo se describe los materiales, equipos e instrumentos requeridos para la fabricación del molde, de igual forma se da a conocer la preparación previa a la obtención del molde y los pasos a seguir para obtener un molde de arena.

#### 4.1 Materiales

- ✓ Grafito
- ✓ Arena sílice
- ✓ Agua
- ✓ Waípe

#### 4.2 Equipos

- ✓ Compresor

#### 4.3 Instrumentos

- ✓ Cajas de moldeo
- ✓ Pala
- ✓ Apisonador manual
- ✓ Lanceta
- ✓ Cuchara
- ✓ Punzón
- ✓ Martillo
- ✓ Regla metálica
- ✓ Brocha

	<b>ELABORACIÓN DE LOS MOLDES DE ARENA PARA LAS CÁMARAS DE PRESIÓN</b>	
---	---	---

#### 4.4 Requerimientos previos al moldeo

Para el modelo se debe realizar previamente los siguiente:



- ✓ Verificar que el moldeo se encuentre elaborado de una forma adecuada que permita su fácil extracción (ángulos de salida para el molde de arena) y que cumpla con las dimensiones de la pieza que se va a obtener.
- ✓ Limpiar el modelo con la ayuda de aire comprimido evitando impurezas en su superficie.
- ✓ Colocar el grafito en toda la superficie del modelo que va a estar en contacto con la arena de moldeo.

Para la caja de moldeo se debe realizar previamente los siguiente:

- ✓ Se procede a limpiar la caja de moldeo de posibles residuos como mezclas anteriores de moldeo.
- ✓ Verificar que las guías de la caja macho y la caja hembra se encuentre en perfecto estado.

#### 4.5 Operaciones en secuencia para la obtención del molde

1.

Nº	Actividad	Ilustración
1	Colocar la caja hembra sobre una superficie plana, de igual forma colocar el modelo, esto permite que el molde de arena y el modelo se encuentren al mismo nivel.	
2	Cubrir el modelo con arena de moldeo tamizada con una malla de 5 mm, a esta capa se la conoce como arena de contacto.	
3	Con la ayuda de las manos se procede a darle presión sobre el moldeo, teniendo la facilidad de penetrar en geometrías de difícil acceso del modelo	
4	Se introduce arena sin tamizar, hasta cubrir el modelo, a esta se la conoce como arena de relleno	



## ELABORACIÓN DE LOS MOLDES DE ARENA PARA LAS CÁMARAS DE PRESIÓN



5	Apisonar la mezcla de relleno con el apisonador de madera, desde los extremos hacia el interior de la caja de moldeo.	
6	Se procede a colocar capas de arena entre 100 a 120 mm de espesor hasta cubrir toda la superficie de la caja hembra	
7	El excedente de arena de moldeo se la retira con la ayuda de una regleta metálica, con el fin de obtener una superficie plana entre la arena y la caja de moldeo	
8	Se procede a girar la caja hembra a 180°	
9	Colocar una capa fina de arena sílice, para facilitar el desmontaje de las cajas.	
10	Introducir la caja macho sobre la caja hembra y de igual forma colocar la otra sección de modelo	
11	Se introduce una capa de arena de contacto.	
12	Colocar los tubos que forman el sistema de alimentación, para el ingreso y salida de material fundido o calada	
13	Repetir el proceso desde el paso 3 al 7	
14	Extraer los ductos del sistema de alimentación con la ayuda de un martillo y elaborar el cono de colado	
15	Girar la caja macho 180°.	
16	Proceder con la extracción de los modelos para la caja macho y hembra con la ayuda de utensilios como la cuchara, espátulas, piqueta y martillo, este proceso se lo debe realizar con suma precaución para evitar dañar el molde.	





ELABORACIÓN DE LOS MOLDES DE  
ARENA PARA LAS CÁMARAS DE  
PRESIÓN



17	Guardar el modelo a buen recaudo en el almacén.	
18	Se procede a introducir los noyos en el molde	
19	Se procede a cerrar el molde de arena	
20	El molde de arena es llevado al área de fundición	

## ANEXO 6: Preparación de la colada para las cámaras de presión.



<b>Solicitado por el director del proyecto:</b>	Ing. Fausto Hernán Oviedo Msc.
<b>Trabajo:</b>	Preparación de la colada para las cámaras de presión.
<b>Realizado por:</b>	Anderson Insuasti y Mauricio Ruiz

### ÍNDICE

1. OBJETIVO
2. ALCANCE
3. RESPONSABILIDAD
4. PREPARACIÓN DE LA COLADA
  - 4.1 MATERIALES
  - 4.2 EQUIPOS
  - 4.3 INSTRUMENTOS
  - 4.4 REQUERIMIENTOS PREVIOS A LA PREPARACIÓN DE LA COLADA
  - 4.5 OPERACIONES SECUENCIALES PARA LA OBTENCIÓN DE LA COLADA



### **1. Objetivo**

Determinar la secuencia de actividades a realizar la preparación de la colada, para la fabricación de las cámaras de presión.

### **2. Alcance**

Proceso de obtención de la colada, donde se emplean pistones de automotores de alto cilindraje como los camiones para la fabricación de las cámaras de presión.

### **3. Responsabilidad**

Los responsables de elaborar la colada son los encargados de que se cumpla los parámetros establecidos en el documento.

### **4. Desarrollo del noyo**

En el apartado del desarrollo de la colada se describe los materiales, equipos e instrumentos requeridos para la obtención del mismo, de igual forma se da a conocer la preparación previa a la obtención de la colada y los pasos a seguir.

#### **4.1 Materiales**

- ✓ Pistones de automotores de alto cilindraje
- ✓ Gasolina

#### **4.2 Equipos**

- ✓ Compresor
- ✓ Bascula
- ✓ Cilindro de gas y soplete

#### **4.3 Instrumentos**

- ✓ Waipes
- ✓ Cepillo de alambre
- ✓ Lijas de numeración 100.

#### **4.4 Requerimientos previos la preparación de la colada**

Para la colada se debe realizar previamente lo siguiente:

- ✓ Limpiar los pistones de automotor con gasolina para eliminar residuos de grasa u otros materiales adheridos al mismo.

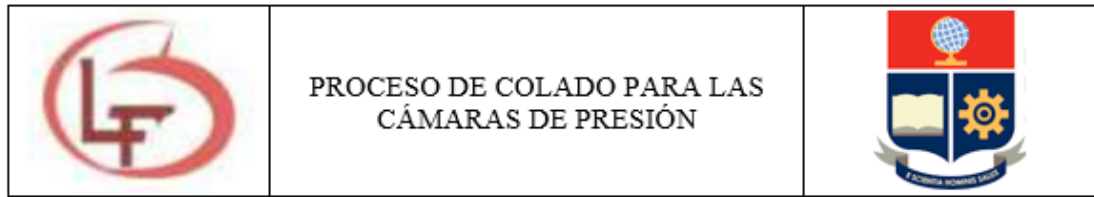


- ✓ Retirar zonas quemadas con la ayuda de lijas y el cepillo de alambre, para que el material a fundir no presente residuos de otro material.

#### 4.5 Operaciones en secuencia para la obtención de la colada

1. Calcular la cantidad requerida de material para preparar la colada, donde se considera en base al peso de la pieza un 6% más, debido a que el material se oxida durante la fundición, rebabas, sistema de alimentación.
2. Se enciende el horno de crisol fijo, donde se calienta el horno por un tiempo para luego introducir los pistones de forma paulatina.
3. Una vez que se ingresa todo el material para la colada se mezcla con la ayuda de una varilla, para darle homogeneidad a la mezcla.
4. Se verifica que todos pistones introducidos se hayan disueltos, estén todos fundidos.
5. Se deja reposar con el horno encendido hasta llegar a los 700° C, aproximadamente.
6. Una vez que la colada haya llegado a la temperatura indicada se mantiene durante un rango de 10 a 15 minutos.
7. A continuación, se procede con el proceso de colado.

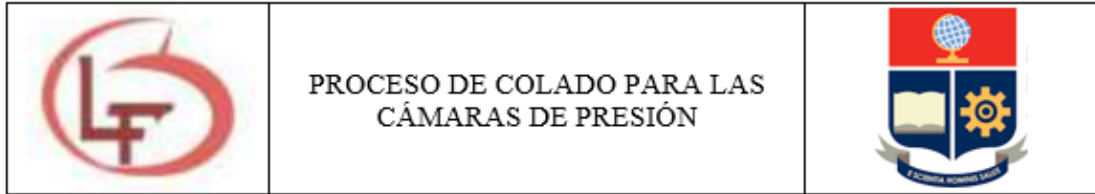
## ANEXO 7: Proceso de colado para las cámaras de presión.



<b>Solicitado por el director del proyecto:</b>	Ing. Fausto Hernán Oviedo Msc.
<b>Trabajo:</b>	Proceso de colado para las cámaras de presión.
<b>Realizado por:</b>	Anderson Insuasti y Mauricio Ruiz

### ÍNDICE

1. OBJETIVO
2. ALCANCE
3. RESPONSABILIDAD
4. PROCESO DE COLADO
  - 4.1 MATERIALES
  - 4.2 EQUIPOS
  - 4.3 INSTRUMENTOS
  - 4.4 REQUERIMIENTOS PREVIOS AL COLADO
  - 4.5 OPERACIONES SECUENCIALES PARA EL PROCESO DE COLADO



### **1. Objetivo**

Determinar la secuencia de actividades a realizar el colado, para la fabricación de las cámaras de presión.

### **2. Alcance**

Proceso de colado, donde se emplea la colada de pistones de automotores de alto cilindraje como los camiones para la fabricación de las cámaras de presión.

### **3. Responsabilidad**

Los responsables de elaborar el colado son los encargados de que se cumpla los parámetros establecidos en el documento.

### **4. Proceso de colado**

En el apartado del proceso de colado se describen los materiales, equipos e instrumentos requeridos para la obtención del mismo, de igual forma se da a conocer la preparación previa, para el proceso de colado.

#### **4.1 Materiales**

- ✓ Colada de pistones de automotores de alto cilindraje

#### **4.2 Equipos**

- ✓ Horno de fundición de crisol fijo
- ✓ Compresor
- ✓ Cilindro de gas y soplete

#### **4.3 Instrumentos**

- ✓ Crisol de 8 Kg
- ✓ Pinzas de crisol
- ✓ Contrapesos
- ✓ Guates de protección
- ✓ Gafas
- ✓ Escoriador



## PROCESO DE COLADO PARA LAS CÁMARAS DE PRESIÓN



### 4.4 Requerimientos previos la preparación al colado

El usuario debe realizar previamente lo siguiente:

- ✓ Colocarse los guantes de protección.
- ✓ Colocarse los guantes.
- ✓ Colocarse un par de zapatos adecuados como botas punta de acero.

Para la colada se debe realizar previamente lo siguiente:

- ✓ Pasar la colada al crisol.
- ✓ Retirar la escoria del crisol.

Para el modelo se debe realizar previamente lo siguiente:

- ✓ El modelo debe estar en el área de fundición.
- ✓ Previo a la fundición el molde se precalienta con la ayuda de un cilindro de gas y un soplete.
- ✓ Se procede a limpiar el molde de posibles residuos que pueden estar en el interior del molde, para ello se emplea aire comprimido.
- ✓ Introducir el noyo en el molde.
- ✓ Cerrar el molde para proceder con el colado
- ✓ Colocar los contrapesos en el molde de arena.

### 4.5 Operaciones en secuencia para el proceso de colado

1. Transportar el crisol con las pinzas hasta el molde de arena.
2. Empezar a verter la colada por el sistema de alimentación.
3. Mantener una altura promedio 250 mm durante su colado.
4. La colada debe ser continua al ingresar con una velocidad promedio de 1.3 m/s según lo calculado, para caso práctico la colada debe ser continua durante su vertido.
5. Introducir el colado por el bebedero hasta que la colada rebose sobre el sistema de alimentación, esto da la seguridad de que el molde se llenó por completo.
6. Repetir proceso operación 1 a la 6 para los demás moldes de arena.

## **ANEXO 8: Proceso de mecanizado para las cámaras de presión.**



<b>Solicitado por el director del proyecto:</b>	Ing. Fausto Hernán Oviedo Msc.
<b>Trabajo:</b>	Obtención de los procedimientos de mecanizado para las cámaras de presión.
<b>Realizado por:</b>	Anderson Insuasti y Mauricio Ruiz

### **ÍNDICE**

- 1. OBJETIVO**
- 2. ALCANCE**
- 3. RESPONSABILIDAD**
- 4. PROCESO DE MECANIZADO**
  - 4.1 MATERIALES**
  - 4.2 EQUIPOS**
  - 4.3 INSTRUMENTOS**
  - 4.4 OPERACIONES SECUENCIALES PARA LA OBTENCIÓN DE LA CÁMARA DE PRESIÓN**





## PROCESO DE MECANIZADO PARA LAS CÁMARAS DE PRESIÓN



### 1. Objetivo

Determinar la secuencia de actividades a realizar para el maquinado de las cámaras de presión, utilizando maquinas herramienta como el torno CNC, fresa CNC, sierra cinta.

### 2. Alcance

Proceso de obtención de las cámaras de presión mediante el maquinado de las mismas.

### 3. Responsabilidad

Los responsables de maquinar las cámaras seguirán las guías indicadas para ajustarse a los requerimientos.

### 4. Moldeo

N/A

#### 4.1 Producto

- ✓ Cámaras de presión

#### 4.2 Equipos

- ✓ Torno CNC
- ✓ Fresa CNC
- ✓ Sierra cinta
- ✓ Amoladora

#### 4.3 Instrumentos

- ✓ Disco de corte
- ✓ Inserto de desbaste frontal
- ✓ Inserto de desbaste interno
- ✓ Inserto de cilindrado
- ✓ Fresa para aplanar
- ✓ Broca M10



PROCESO DE MECANIZADO PARA  
LAS CÁMARAS DE PRESIÓN




4.4 Operaciones en secuencia para la obtención de las cámaras maquinadas

Nº	Actividad	Ilustración
1	Se procede a extraer los canales de alimentación y bebederos, se deben cortar para facilitar los siguientes procedimientos. Se puede utilizar la sierra cinta, amoladora o cualquier herramienta de corte para metal.	
2	Una vez realizado el corte de los bebederos, se deben limar todos los filos cortantes	
3	Cilindrado interior de las acometidas de descarga y succión, se realiza esta operación a bajas revoluciones.	
4	Verificación dimensional con calibrador.	
5	Se desbasta en pasos de 1 mm, el diámetro maquinado final debe ser de 25 mm tanto para la acometida de descarga como la de succión.	
6	Luego se realiza un cilindrado concéntrico de diámetro 35 mm en la acometida de descarga con una profundidad de 15 mm.	



PROCESO DE MECANIZADO PARA  
LAS CÁMARAS DE PRESIÓN




7	Control de dimensiones, estas se deben realizar con calibrador.	
8	Se realiza el cilindrado interno de la boca de la cámara, dejándolo en diámetro de 25 mm.	
9	Se realiza el maquinado externo de la misma boca obteniendo en un diámetro de 50 mm, todos los pasos se realizan en avances de 1 mm.	



PROCESO DE MECANIZADO PARA  
LAS CÁMARAS DE PRESIÓN





10	Realizar la verificación dimensional con calibrador.	
11	Utilizando el mismo cero de la actividad anterior, se realizan las 6 perforaciones con broca M10.	
12	Se realizan 4 perforaciones en la sección principal, broca M10, perforación pasante	



PROCESO DE MECANIZADO PARA  
LAS CÁMARAS DE PRESIÓN



13	<p>Se montan las válvulas en el separador para poder realizar el planeado de las caras de succión y descarga, aproximadamente se desbastan 3 mm, en pasos de 0.5 mm.</p>	
14	<p>Se comprueba el nivel de las mismas con la burbuja.</p>	
15	<p>Se repiten los pasos del 1 al 14 para las dos cámaras restantes.</p>	

## ANEXO 9: Características de los equipos empleados en el mecanizado y ensamble de la bomba.

PREMIUM QUALITY  
**MAQUINARIA**  
PARA CARPINTERO  
BY **WORKPAAL**

Sierras tronzadoras de cinta - Máquinas sierras tronzadoras  
**SIERRA CINTA OPTIMUM S 275 NV 230 V.**  
Ref. S275NV / Núm. 3300265

**OPTIMUM**  
MASCHINEN - GERMANY  
**metallkraft**  
HIERRO & METAL



Sierras de cinta para hierro

### Descripción

SIERRA CINTA OPTIMUM S 275 NV VARIADOR VEL. 230V

**STOCK OK. Entregas en 4 días hábiles.**

Esta web utiliza 'cookies' propias y de terceros para ofrecerte una mejor experiencia y servicio. Al navegar, o utilizar nuestros servicios, aceptas el uso que hacemos de las 'cookies'. Sin embargo, puedes cambiar la configuración de 'cookies' en cualquier momento. Consulta Información sobre Cookies.

tiempo a alta potencia. Incluye variador de velocidad.

- Equipado con hoja de sierra bimetálica de alta calidad
- Construcción de hierro fundido de alta resistencia
- Dispone de un brazo de torsión con un ángulo de giro de 60°
- Movimiento de brazo efectuado a través de un cilindro hidráulico de alta precisión.
- Velocidad variable de 20 a 90 revoluciones por minuto
- Mordaza de sujeción rápida ajustable mediante volante
- Guías de rodamiento de bolas de 5 puntos que permitirán unos cortes excelentes.
- Micro interruptor de seguridad para una desconexión automática al finalizar el corte
- Dispositivo refrigerante que permitirá evacuar gran parte del calor generado durante el corte
- Manómetros que indican la tensión de la hoja de corte para poder mejorar la precisión.
- Protección contra sobrecargas
- Filtro EMC (no genera perturbaciones electromagnéticas).
- Funcionamiento silencioso y sin vibraciones
- Panel de control con pulsador de parada, interruptores de la bomba refrigerante y velocidad, potenciómetro.
- Incluye de serie: hoja de sierra bimetálica, banco de trabajo y tope del límite de corte.

## Especificaciones

---

### Dimensiones y pesos.

Ancho / profundidad máx.	985 mm
Altura max.	1700 mm
Longitud aprox.	1400 mm
Ancho / profundidad aprox.	685 mm
Peso aprox.	185 kg

### Datos eléctricos

Motor de accionamiento de potencia	1,5 kW
Bomba de refrigerante del motor	90 W.
tensión de alimentación	230 V
Fase (s)	1 ph
Tipo de corriente	corriente alterna
frecuencia de la fuente	50 Hz


### datos de la máquina

Sierra de cinta (s)	20 - 90 m / min
sierra de cinta	2480 mm
ancho de banda de sierra	27 mm
Sägebanddicke	0.9 mm
ángulo de corte	0 - 60 °
pienso	ajustable continuamente

Levante el soporte de la sierra a mano

### áreas de corte

0 ° redondo (material completo)	225 mm
0 ° cuadrado (material sólido)	150 mm
0 ° rectangular (material completo)	150 x 230 mm
+ 45 ° redondo (material sólido)	145 mm
+ 45 ° cuadrado (material completo)	145 mm
+ 45 ° rectángulo (material sólido)	145 x 180 mm
+ 60 ° redondo (material completo)	90 mm
+ 60 ° cuadrado (material sólido)	90 mm
+ 60 ° rectángulo (material sólido)	90 x 120 mm

Maquinaria hierro OPTIMUM NEW 

Esta web utiliza 'cookies' propias y de terceros para ofrecerte una mejor experiencia y servicio. Al navegar, o utilizar nuestros servicios, acepta el uso que hacemos de las 'cookies'. Sin embargo, puede cambiar la configuración de 'cookies' en cualquier momento. Consulte Información sobre Cookies.

PLAZO ENTREGA DE 3 A 5 DIAS HÁBILES



Envío Incluido. (Peninsular).



Calidad Garantizada.

Me gusta 0

Share

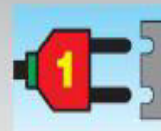
Compartir



Esta web utiliza 'cookies' propias y de terceros para ofrecerte una mejor experiencia y servicio. Al navegar, o utilizar nuestros servicios, aceptas el uso que hacemos de las 'cookies'. Sin embargo, puedes cambiar la configuración de 'cookies' en cualquier momento. Consulta Información sobre Cookies.



# INVERTER MIG-MAG



## SYNSTAR 200 M SYNERGIC



Art.	322	Datos técnicos Dados técnicos	S CE
	230V 50/60 Hz + 15% + -20%	Alimentación monofásica Alimentação monofásica	
	16 A	Fusible de acción retardada Fusível atrasado	
	6,3 KVA 20% 3,8 KVA 60% 3,1 KVA 100%	Potencia absorbida Potência absorvida	
	20A ÷ 200A	Corriente min-max obtenibles en soldadura Corrente min. Max. obtenível na soldadura	
	200A 20% 140A 60% 120A 100%	Factor de servicio (10 min - 40° C) IEC 60974.1 Factor de serviço (10 min - 40° C) IEC 60974.1	
	Electronic	Regulación continua Regulação contínua	
	0,6/0,8/0,9/1,0 Fe-Al 0,8/0,9 Inox-CuSi3% 0,9 Cored	Curvas sinérgicas en equipamiento estándar Curve sinérgicas no fornecimento standard	
	Fe/Al/CuSi3/Inox	Curvas sinérgicas opcionales (Art. 238) Curvas sinérgicas opcionais (Art. 238)	
	Ø 300 mm / 15 Kg	Bobina de hilo trajañible max. Bobina de fio alimentável max.	
	IP 23 S	Clase de protección Grau de protecção	
	45 Kg	Peso Peso	
	480x830x825H	Dimensiones mm Dimensões mm	

LCD display.



Antorcha Push Pull enfriada por aire (Art. 2003)  
Tocha Push Pull arrefecida a ar (Art. 2003)

El nuevo SYNSTAR 200 M es un generador inverter sinérgico monofásico para soldadura MIG-MAG con unidad arrastrahilo Cebora de 2 rodillos.

El generador está equipado con curvas sinérgicas para hilo lleno de Ø 0,6 / 0,8 / 0,9 / 1,0 mm y para hilo tubular de Ø 0,9 mm. Los hilos tubulares pueden ser soldados con o sin gas de protección, mediante simple cambio de polaridad.

**Como opcional se encuentra disponible la actualización de la función pulsado (Art. 238), que permite activar curvas sinérgicas pulsadas dedicadas para hierro, acero inox, aluminio y CuSi3.**

El panel OLED permite al operador leer tipo de hilo y de gas, corriente y espesor, tensión y velocidad del hilo.

El generador dispone de diversas funciones que pueden ser reguladas desde el panel frontal, tales como: longitud de arco, 2 tiempos/ 4 tiempos, tiempo de punteado, tiempo de pausa, impedancia, "burn back", aproximación, etc.

Es un generador particularmente versátil, adecuado para diferentes aplicaciones, reparaciones, especialmente reparaciones y mantenimiento de carrocería, caracterizado por una baja absorción (PFC).

El conector Euro permite usar sea una antorcha MIG estándar, sea una antorcha Push-Pull 2003 Cebora.

Es posible trabajar con dos tipos diferentes de bobina: Ø 200 mm y Ø 300 mm.

**Conforme con lo dispuesto por la norma EN 61000-3-12.**

A nova SYNSTAR 200 M é um gerador inverter sinérgico monofásico para soldadura MIG-MAG com grupo de tração do fio Cebora de 2 rolos.

O gerador está equipado com curvas sinérgicas para fio maciço de Ø 0,6 / 0,8 / 0,9 / 1,0 mm e para fio animado de Ø 0,9 mm. Os fios animados podem ser soldados quer com, quer sem gás de protecção, mediante uma simples troca de polaridade.

**Como opcional está disponível o upgrade da função pulsado (Art. 238), que permite activar curvas sinérgicas pulsadas específicas para ferro, aço inox, alumínio e CuSi3.**

O painel OLED permite que o operador possa ler o tipo de fio e de gás, a corrente e a espessura, a tensão e a velocidade do fio.

O gerador tem várias funções reguláveis no painel frontal, tais como: comprimento do arco, 2 tempos / 4 tempos, tempo de pontos, tempo de pausa, impedância, Burn Back, aproximação, etc.

É um gerador muito versátil, adequado a várias aplicações, especialmente nas reparações, na manutenção e nas reparações de carroçaria, caracterizado por um baixo consumo (PFC).

O conector Euro permite usar uma tocha MIG standard ou uma tocha Push-Pull 2003 Cebora.

É possível trabalhar com dois tipos diferentes de bobinas: Ø 200 mm ou Ø 300 mm.

**Aparelho em conformidade com a norma EN 61000-3-12.**