



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL



FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA

DISEÑO Y FABRICACIÓN POR FUNDICIÓN DEL SISTEMA DE SOPORTE Y CONEXIÓN PARA UN PROTOTIPO DE BOMBA DE DESPLAZAMIENTO POSITIVO

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

JIMÉNEZ VISCARRA VÍCTOR JAVIER
victor.jimenez@epn.edu.ec

OCHOA LARREÁTEGUI DAVID SEBASTIÁN
david.ochoa01@epn.edu.ec

DIRECTOR:
ING. OSCAR SOTOMAYOR, M.Sc.
oscar.sotomayor@epn.edu.ec

CO-DIRECTOR:
ING. FAUSTO OVIEDO, M.Sc.
fausto.oviedo@epn.edu.ec

Quito, Enero 2018

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por **Víctor Javier Jiménez Viscarra** y **David Sebastián Ochoa Larreátegui**, bajo mi supervisión.

Ing. Oscar Sotomayor, M.Sc.
DIRECTOR DE PROYECTO

Ing. Fausto Oviedo, M.Sc.
CO-DIRECTOR DE PROYECTO

DECLARACIÓN

Nosotros, **Víctor Javier Jiménez Viscarra y David Sebastián Ochoa Larreátegui**, declaramos bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de nuestra autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración cedemos nuestros derechos de propiedad intelectual correspondiente a este trabajo, a la Escuela Politécnica Nacional, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normativa institucional vigente.

Víctor Javier Jiménez Viscarra

David Sebastián Ochoa Larreátegui

DEDICATORIA

Dedico de manera especial a mis hermanas Anita y Sandra que siempre han estado brindándome un apoyo incondicional ante cualquier adversidad, gracias a ellas he podido tener todos los pilares suficientes para ser una persona profesional de éxito.

A mis padres Vilma y Víctor H. por el apoyo que siempre me han brindado en el día a día por estar pendientes de como transcurría en mi carrera universitaria.

Víctor Javier

DEDICATORIA

A mi papá Rodrigo y a mi mamá Silvia.

Mi papá, quien me encaminó con todo su apoyo en este gran reto. Él, que con su gran ejemplo me ha enseñado que primero está la honorabilidad y que nada se compara con ser una persona intachable. Sin duda papá, me enseñaste ese camino a seguir.

Mi mamá, por ser la gran guerrera que ha estado al frente día a día en este caminar. Ella es mi pilar fundamental, de quien obtengo la fuerza y motivación. Si hoy estoy aquí, es gracias a ti mamá y a todo tu amor y dedicación que día a día nos has entregado.

A mis hermanos, Rodrigo, Silvana y Mateo; que han estado en cada uno de mis pasos, con el apoyo incondicional para perseguir mis objetivos.

David Sebastián

AGRADECIMIENTO

Por la culminación del proyecto de titulación agradezco a todos los ingenieros, tecnólogos, ayudantes y pasantes que me ayudaron con todas las inquietudes y las enseñanzas que me supieron brindar durante todo el desarrollo de este proyecto de titulación. Agradezco todo el apoyo a mi familia y amigos que de una u otra manera aportaron para el desarrollo de la misma y con apoyo incondicional de mi amigo, compañero y vecino Sebastián Ochoa.

Víctor Javier

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, quiero agradecer a mi madre, quien me ha dado todo para cumplir con este reto, que con su admirable esfuerzo es el principal artífice de este logro.

A mis hermanos, quienes han remado siempre en pro de salir adelante juntos, y que gracias a este sentimiento de familia que nos dieron nuestros padres, han dejado todo individualismo y son gestores de este gran logro.

A mi abuelita Pía, quien me ha brindado todo su apoyo durante todo este proceso, quien siempre ha estado con nosotros brindándonos su amor y apoyo en cada situación.

A mi prima Sonia y su esposo Fausto, quienes han sido para mí y mi familia un soporte sin igual y cómplice de todos nuestros triunfos y caídas, gracias por su apoyo incondicional.

A los ingenieros Oscar Sotomayor y Fausto Oviedo, por su valiosa guía y empuje en el desarrollo de este trabajo. Al tecnólogo Fabián Peñaloza, por su valiosa experiencia y su vocación servicial.

A mi compañero y amigo Javier, por su trabajo y dedicación que permitió desarrollar y culminar el presente trabajo de manera exitosa.

Y por supuesto a ti Anita, por tu amor y apoyo en todo este proceso, gracias por permitirme contar siempre contigo.

David Sebastián

ÍNDICE DE CONTENIDO

CERTIFICACIÓN	i
DECLARACIÓN	ii
DEDICATORIA	iii
AGRADECIMIENTO	v
ÍNDICE DE CONTENIDO	vii
ÍNDICE DE FIGURAS	xi
ÍNDICE DE TABLAS	xiv
RESUMEN	xvi
ABSTRACT	xvii
INTRODUCCIÓN	1
Objetivo general	2
Objetivos específicos	2
1. MARCO TEÓRICO	3
1.1. Bombas hidráulicas	3
1.1.1. Bombas de desplazamiento positivo	3
1.1.2. Clasificación.....	4
1.1.3. Bombas reciprocantes o alternativas.....	4
1.1.4. Principio de funcionamiento	5
1.1.5. Ventajas y desventajas	7
1.1.6. Clasificación.....	8
1.2. Bomba de Triple embolo.....	8
1.2.1. Ventajas y desventajas	10
1.3. Tecnología de Fundición.....	10
1.4. Moldeo en arena.....	13
1.4.1. Fundición en arena: Pasos básicos.....	14

1.4.2.	Procedimiento de moldeo.....	15
1.5.	Preparación de colada y tratamiento	15
1.5.1.	Aleaciones de aluminio	16
1.5.1.1.	Composición química	16
2.	METODOLOGÍA.....	18
2.1.	Diseño de los elementos de una bomba de desplazamiento positivo	18
2.1.1.	Especificaciones técnicas requeridas.....	18
2.1.2.	Diseño conceptual.....	19
2.1.3.	Determinación de cargas	21
2.1.4.	Selección del material	30
2.1.5.	Dimensionamiento	34
2.1.6.	Juntas empernadas.....	40
2.2.	Proceso de obtención de los componentes mecánicos.....	44
2.2.1.	Plano de División y Facilidad de Desmoldeo	45
2.2.2.	Contrasalidas	46
2.2.3.	Sobredimensionamiento por contracción	47
2.2.4.	Sobredimensionamiento por maquinado	49
2.2.5.	Ángulos de salida.....	55
2.2.6.	Determinación de las Dimensiones de la Caja de Moldeo.....	57
2.2.7.	Cálculo y diseño del sistema de alimentación	59
2.2.7.1.	Cálculo y diseño de mazarotas	60
2.2.7.2.	Cálculo de la altura de presión del metal durante el llenado.....	66
2.2.7.3.	Determinación de la Velocidad y Tiempo de Llenado	68
2.2.7.4.	Dimensionamiento del bebedero.....	70
2.2.7.5.	Dimensionamiento de la Cuenca de Vertido.....	74
2.2.7.6.	Dimensionamiento de los Canales y Entradas de Alimentación	74
2.2.7.7.	Dimensionamiento de la Base del Bebedero o Colector de Escoria	77

2.3.	Simulación por elementos finitos del proceso de fabricación por fundición ...	78
2.4.	Manufactura de los elementos mecánicos	80
2.4.1.	Elaboración de modelos, moldes, cajas de noyos y noyos	80
2.4.1.1.	Elaboración de modelos y cajas de noyos.....	80
2.4.1.2.	Moldeo de Moldes y Noyos	82
2.5.	Proceso de fabricación por fundición	90
3.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	97
3.1.	Elementos Fabricados	97
3.2.	Evaluación de las propiedades de las piezas obtenidas	98
3.2.1.	Espectrometría de chispa de la aleación obtenida	98
3.2.2.	Ensayos de tracción.....	100
3.2.3.	Ensayos no destructivos realizados a los elementos.....	104
3.3.	Análisis de resultados.....	109
4.	CONCLUSIONES	113
4.1.	Conclusiones	113
4.2.	Recomendaciones	116
5.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	118
6.	ANEXOS.....	121
6.1.	Anexo 1. Propiedades aluminio A413.0	121
6.2.	Anexo 2. Dimensiones de arandelas metálicas.....	123
6.3.	Anexo 3. Análisis de Arena Permeabilidad	124
6.4.	Anexo 4. Análisis de arena – Tracción.....	129
6.5.	Anexo 5. Análisis de mezcla de arena con melaza	133
6.6.	Anexo 6. ALU FUNDEX.....	140
6.7.	Anexo 7. APARTAGAS.....	144
6.8.	Anexo 8. Ficha de identificación - Argón.....	149
6.9.	Anexo 9. Ficha técnica – Equipo espectrometría de chispa	157

6.10.	Anexo 10. Informe técnico – Espectrometría por chispa	159
6.11.	Anexo 11. Informe de ensayo de tracción	162
6.12.	Anexo 12. Reporte de inspección por líquidos penetrantes	165
6.13.	Anexo 13. Planos	168

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1. Clasificación de las bombas de desplazamiento positivo	4
Figura 1.2. Diagrama de flujo del proceso de fundición.....	11
Figura 1.3. Proceso de manufactura para el proceso de moldeo en arena	15
Figura 2.1. Diseño conceptual de la carcasa y separador.....	20
Figura 2.2. Diagrama del sistema	21
Figura 2.3. Diagrama de cuerpo libre del cigüeñal tridimensional	23
Figura 2.4. Diagrama de cuerpo libre del pistón.....	25
Figura 2.5. Diagrama del cuerpo libre del cigüeñal en el plano x-y.	27
Figura 2.6. Gráfica de las fuerzas de cada pistón en el eje x	28
Figura 2.7. Diagrama del cuerpo libre del cigüeñal en el plano z-y.	29
Figura 2.8. Gráfica de las fuerzas de cada pistón en el eje z	30
Figura 2.9. Seleccionador de Materiales CES EduPack 2015, opción de limitar el universo de materiales.....	31
Figura 2.10. Densidad vs. Precio de las aleaciones encontradas	32
Figura 2.11. Límite Elástico vs. Precio de las aleaciones encontradas	32
Figura 2.12. Límite elástico vs Densidad de las aleaciones encontradas.....	33
Figura 2.13. Diámetro mínimo para el funcionamiento del mecanismo cigüeñal-biela-pistón.....	35
Figura 2.14. Resumen de las condiciones de borde sobre la Carcasa.....	36
Figura 2.15. Convergencia de la solución	37
Figura 2.16. Deformación total de la carcasa	37
Figura 2.17. Esfuerzo Principal máximo de la carcasa.....	38
Figura 2.18. Resumen de condiciones de borde del conjunto	38
Figura 2.19. Deformación total en conjunto.....	39
Figura 2.20. Esfuerzo principal máximo del conjunto	39
Figura 2.21. Junta empernada Carcasa y Tapas laterales.	40
Figura 2.22. Junta entre Carcasa y Separador.....	44
Figura 2.23. Plano de División para la Carcasa	45
Figura 2.24. Plano de división del separador	45
Figura 2.25. Orientación para la extracción de las bridas de las prensaestopas	46
Figura 2.26. Modelo de la Carcasa con las respectivas portadas de noyo	46
Figura 2.27. Modelo del Separador con las respectivas portadas del noyo.....	47

Figura 2.28. Modelo tridimensional de la pieza al finalizar el proceso de fundición	61
Figura 2.29. Forma de la mazarota	62
Figura 2.30. Dimensiones para los conductos de la mazarota hacia la pieza	63
Figura 2.31. Mazarota para la carcasa	64
Figura 2.32. Modelo tridimensional de la pieza al finalizar el proceso de fundición	65
Figura 2.33. Mazarota para el separador	66
Figura 2.34. Dimensionamiento de la altura estática	67
Figura 2.35. Ubicación de dimensiones hacia la pieza, según Tabla 2.18	67
Figura 2.36. Ubicación de dimensiones hacia la pieza, según Tabla 2.18	68
Figura 2.37. Esquema del sistema de alimentación recomendado	70
Figura 2.38. Esquema para la alimentación recomendado	72
Figura 2.39. Esquema de montaje de la cuenca de vertido	73
Figura 2.40. Dimensiones para la Cuenca de Vertido	74
Figura 2.41. Esquema de regencia para dimensionamiento de la base del bebedero	77
Figura 2.42. Modelado de las piezas con los principales parámetros de diseño del proceso	79
Figura 2.43. Resultados de la simulación. Módulo de Chvorinov (izq.) % de porosidad (der.)	79
Figura 2.44. Resultados de la simulación. Módulo de Chvorinov (izq.) % de porosidad (der.)	80
Figura 2.45. Proceso de impresión 3D con cabezal extrusor	81
Figura 2.46. Proceso de obtención de cajas de noyos por manufactura de capas	81
Figura 2.47. Permeabilidad vs % de agua	82
Figura 2.48. Permeabilidad Parcial vs % de agua	83
Figura 2.49. Resistencia a la Tracción vs % de agua	83
Figura 2.50. Resistencia a la tracción vs. % de Melaza	84
Figura 2.51. Arena nueva para moldeo	85
Figura 2.52. Moldeo de las prensaestopas	86
Figura 2.53. Moldeo del Separador (molde inferior)	86
Figura 2.54. Moldeo de la carcasa (molde inferior)	86
Figura 2.55. Moldeo de la carcasa (molde superior)	87
Figura 2.56. Molde inferior y noyo del separador	89
Figura 2.57. Noyos de la carcasa montados en el molde inferior	89
Figura 2.58. Eficiencia vs. Diámetro de las burbujas del gas inyectado.	91

Figura 2.59. Inyección de Argón mediante el método de una lanza.	92
Figura 2.60. Herramientas fabricadas para el proceso de obtención de la colada.....	92
Figura 2.61. Carga de chatarra en los respectivos crisoles.	94
Figura 2.62. Proceso de preparación de la colada de aluminio.	95
Figura 2.63. Extracción de la colada de aluminio del horno.	95
Figura 2.64. Colado del material fundido en el molde.	96
Figura 3.1. Maquinado de la Carcasa.	97
Figura 3.2. Carcasa terminada.....	97
Figura 3.3. Separador terminado.	98
Figura 3.4. Prensaestopas terminadas.....	98
Figura 3.5. Diagrama de fase Al-Si.	100
Figura 3.6. Máquina de ensayos universal del Laboratorio	101
Figura 3.7. Retenedores de alta y de baja	104
Figura 3.8. Separador.....	104
Figura 3.9. Retenedores de alta.....	105
Figura 3.10. Retenedor de baja.	105
Figura 3.11. Base de sujeción izquierda.	105
Figura 3.12. Base de sujeción derecha.....	106
Figura 3.13. Líquido penetrante en retenedores.	106
Figura 3.14. Líquido penetrante en base de sujeción de separador.....	106
Figura 3.15. Retenedores de alta.....	107
Figura 3.16. Retenedor de baja.	107
Figura 3.17. Base de sujeción derecho del separador.	108
Figura 3.18. Base de sujeción derecho del separador	108
Figura 3.19. Base de sujeción izquierda del separador.....	108

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1. Ventajas y desventajas – Bombas triplex	10
Tabla 1.2. Puntos de fusión de algunos metales.....	11
Tabla 2.1. Especificaciones técnicas de la bomba de triple émbolo.....	18
Tabla 2.2. Matriz de selección del sistema de soporte y conexión.....	19
Tabla 2.3. Propiedades del aluminio A413.0.....	33
Tabla 2.4. Condiciones de borde	36
Tabla 2.5. Resultados de simulación de la carcasa	38
Tabla 2.6. Resultados de simulación del conjunto.....	39
Tabla 2.7. Propiedades mecánicas de pernos, tornillos, y brillos de acero ISO.....	41
Tabla 2.8. Diámetros y áreas de roscas métricas.....	42
Tabla 2.9. Tolerancia para sobredimensionamiento por contracción de varios materiales.....	48
Tabla 2.10. Tolerancias típicas para acabados superficiales	50
Tabla 2.11. Tolerancias por maquinado.....	50
Tabla 2.12. Dimensiones de referencia para sobredimensionamiento por maquinado para la Carcasa	51
Tabla 2.13. Dimensiones de referencia para sobredimensionamiento por maquinado para la Carcasa.....	51
Tabla 2.14. Dimensiones de referencia para sobredimensionamiento por maquinado para las Bridas de las Prensaestopas.....	53
Tabla 2.15. Ángulos de inclinación recomendados para modelos.....	55
Tabla 2.16. Valores de ángulo de inclinación para el separador	56
Tabla 2.17. Valores de ángulo de inclinación para el separador	56
Tabla 2.18. Dimensiones permisibles entre piezas y elementos del molde	58
Tabla 2.19. Constantes para la ecuación de Caine.....	61
Tabla 2.20. Valores de la constante b para diferentes grosores.....	69
Tabla 2.21. Coeficientes de eficiencia para sistemas de alimentación	71
Tabla 2.22. Relaciones de alimentación usados en la práctica	75
Tabla 2.23. Noyo para vaciado de cilindros y alojamiento del cigüeñal.....	87
Tabla 2.24. Valores para la elaboración del noyo soporte de corrección de una contra salida	87

Tabla 2.25. Valores para la elaboración del noyo para el vaciado de cilindros, plunger y cámara de presión del Separador.....	88
Tabla 2.26. Compuestos agregados a la colada.....	94
Tabla 3.1. Composición química de la aleación obtenida.....	99
Tabla 3.2. Resultados del ensayo de tracción.....	101
Tabla 3.3. Curvas de Esfuerzo – Deformación de las probetas ensayadas.....	103

RESUMEN

Se presenta el proceso de diseño y fabricación del sistema de soporte y conexión de un prototipo de bomba de desplazamiento positivo. Para el desarrollo de éste se ha investigado un marco teórico enmarcado en el área de bombas hidráulicas, así como también el área de tecnología de fundición. La metodología empleada consistió en el diseño de los elementos mecánicos, el proceso de obtención de componentes además de la simulación por elementos finitos junto con la manufactura de elementos.

Para la obtención de las piezas con la aleación seleccionada en base a propiedades constructivas y de resistencia, se toma en cuenta la mezcla de moldeo y procedimiento descrito en este documento.

Las piezas obtenidas poseen propiedades que requieren verificación la cual se ha hecho a través de diversos ensayos no destructivos (tintas penetrantes) y ensayos destructivos (espectrometría de chispa, tracción).

Palabras clave:

Aleación, contracción, ensayos, fundición, presión, solidificación.

ABSTRACT

The work presented is about the design and manufacturing process of the support and connection system of a positive displacement pump prototype. For the development of this one, a theoretical framework framed in the area of hydraulic pumps has been investigated, as well as the area of foundry technology. The methodology used consisted in the design of the mechanical elements, the process of obtaining components in addition to the simulation by finite elements together with the manufacture of elements.

To obtain the pieces with the selected alloy based on constructive and strength properties, the molding mixture and procedure described in this document has been taken into account.

The pieces obtained have properties that require verification, which has been done through various non-destructive tests (penetrating inks) and destructive tests (spark spectrometry, traction).

Keywords:

Alloy, casting, shrinkage, pressure, solidification, testing

DISEÑO Y FABRICACIÓN POR FUNDICIÓN DEL SISTEMA DE SOPORTE Y CONEXIÓN PARA UN PROTOTIPO DE BOMBA DE DESPLAZAMIENTO POSITIVO

INTRODUCCIÓN

El limitado desarrollo en los procesos de manufactura en el Ecuador, hace que los productos fabricados en el país posean un bajo valor agregado. Por ello se transfieren recursos de una región con menor nivel a otra con un mayor nivel de especialización en la producción. Prueba de ello es la balanza comercial desfavorable para nuestro país. Por ejemplo, según cifras de comercio exterior de la empresa NOSIS S.A., en el año 2014 la balanza comercial en el sector metalmecánico en el Ecuador tuvo un déficit de \$1.493.489.821,00, y para en el año 2015, el déficit fue de \$ 1.057.438.655,00. (NOSIS, 2016)

El presente trabajo de titulación es parte de un proyecto mayor que se encuentra en desarrollo en el Laboratorio de Fundición de la Facultad de Ingeniería Mecánica de la Escuela Politécnica Nacional cuyo objetivo final es la fabricación de una bomba de desplazamiento positivo. El problema a resolver es la carencia de un sistema de soporte y conexión que permita el correcto funcionamiento del prototipo de la bomba. Así, el objetivo final es el diseño y la fabricación del sistema de soporte y conexión de la bomba de desplazamiento positivo. El sistema debe cumplir con exigencias tales como: permitir un acceso al interior del prototipo de la bomba con fines de ensamblaje y mantenimiento, contar con anclajes de sujeción para la operación, servir de contenedor para el lubricante, proporcionar un aislamiento entre el agua que se bombeará y el aceite, brindar la propiedad de resistencia a la corrosión suficiente y finalmente entregar la robustez y rigidez al sistema para los requerimientos mecánicos a los que estará sometida la bomba.

En términos de fabricación del prototipo, no se tiene un proceso de fundición, que con los recursos disponibles al momento, permita la obtención de los elementos mecánicos objeto del presente estudio. Este incluye, diseño del sistema de alimentación, diseño de un procedimiento de extracción de gases de la colada, diseño y fabricación de

modelos de fundición, procedimiento de control de temperatura y procedimiento de obtención de la aleación requerida.

En el Ecuador no se encontró registro de empresas que se dediquen a la fabricación de bombas de émbolo, es por esto la importancia de empezar con la fabricación de un prototipo que permita cubrir un sector industrial que se encuentra en exponencial crecimiento.

En la industria petrolera, existe gran demanda de este tipo de bombas, ya que tienen un extenso uso en aplicaciones de bajo caudal y altas presiones, y que principalmente se usan para el bombeo de fluidos pastosos o viscosos en las que las bombas centrifugas tienen limitado su uso. (Gudiño Yépez & Vásquez Noboa, 2008)

Objetivo general

Diseñar y fabricar por fundición el sistema de soporte y conexión para un prototipo de bomba de desplazamiento positivo.

Objetivos específicos

- Diseñar el sistema de soporte y conexión para un prototipo de bomba de desplazamiento positivo.
- Definir una aleación requerida para el prototipo.
- Determinar el procedimiento para la obtención de la aleación definida.
- Diseñar el proceso de fabricación por fundición. (Diseño de la sección y ubicación de: sistema de alimentación, mazarotas, escoriadores y canales de alimentación además del cálculo y diseño de modelos y cajas de noyos.)
- Fabricar el sistema de soporte y conexión del prototipo de bomba de desplazamiento positivo.
- Evaluar las propiedades de las piezas obtenidas mediante espectrometría de chispa, métodos de ensayos destructivos y no destructivos.

1. MARCO TEÓRICO

1.1. Bombas hidráulicas

Una bomba hidráulica se define de forma general como una maquina hidráulica generadora que utiliza energía mecánica para transformarla en energía hidráulica del fluido incompresible en movimiento. Esta energía hidráulica se manifiesta como un aumento de la presión, velocidad o altura del fluido. (Viejo Zubicaray, 2000)

Existe una clasificación de las bombas dada por el Instituto de Hidráulica de los Estados Unidos, que consiste en dos grandes grupos en función de como se desplaza el fluido en el mecanismo interior de la bomba. Dividiéndose así en bombas de desplazamiento positivo para aquellos mecanismos en los que el fluido se desplaza a presión y bombas centrifugas en las que el fluido es desplazado por acción del movimiento circular de los impulsores.

A continuación, se tratará a profundidad las bombas de desplazamiento positivo.

1.1.1. Bombas de desplazamiento positivo

Como se mencionó anteriormente, el mecanismo de este tipo de bombas consiste en un aumento de la presión al interior de la bomba por causa de la disminución de volumen de la cámara de paso del fluido, es decir, siempre se encuentra una cámara de succión, que es la que aumenta el volumen y una cámara de impulsión o descarga la cual disminuye su volumen; por lo cual, también son conocidas como bombas volumétricas.

Este aumento de presión se da mediante un elemento impulsor y la carcasa en contacto con el fluido incompresible, este permanece en contacto durante toda su trayectoria con el impulsor y la carcasa por lo que esta relación de los elementos en mención, guía en todo momento la trayectoria del fluido. El elemento impulsor puede ser un émbolo, un diente de un engranaje o un tornillo. Mientras que la carcasa generalmente es un cilindro o una cámara de presión.

1.1.2. Clasificación

El movimiento que genera este intercambio de energía mecánica a hidráulica al interior de la bomba, puede ser alternativo o rotatorio, esta posibilidad genera una clasificación dentro de las bombas de desplazamiento positivo, que se ilustra en la Figura 1.1.:

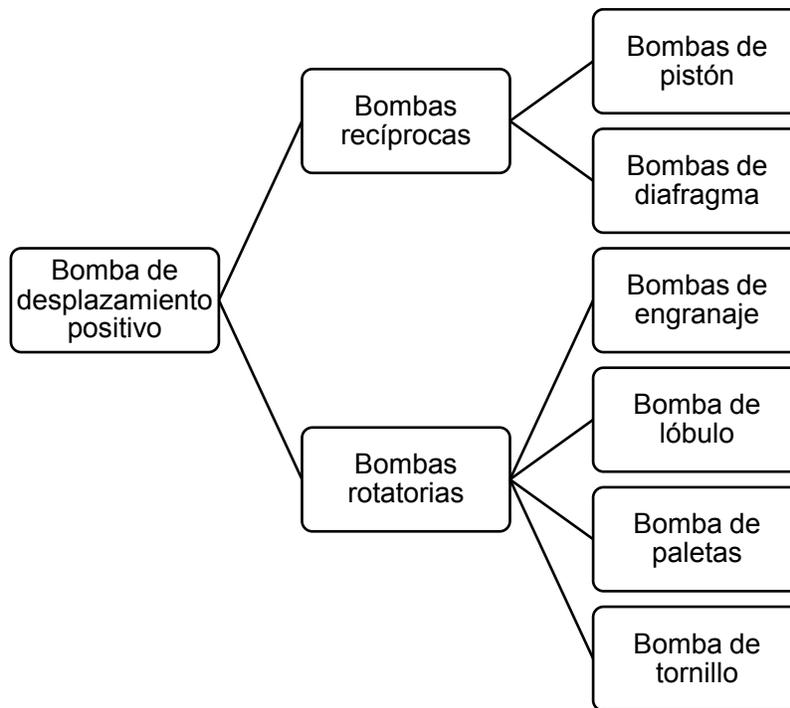


Figura 1.1. Clasificación de las bombas de desplazamiento positivo
Fuente: (McNaughton, 2010)

1.1.3. Bombas recíprocantes o alternativas

Las bombas alternativas son máquinas hidráulicas que, como indica su nombre, el movimiento para su funcionamiento es alternativo, dado por un pistón que se desplaza axialmente, en el que para un sentido del movimiento se crea una depresión que aspira el líquido a la cámara de succión y en el otro sentido una impulsión o compresión que lo desplaza a la cámara o tubería de descarga.

Este tipo de bombas no requieren de velocidades elevadas para producir presión como es el caso de las bombas centrifugas o rotatorias, en general, la operación de estas bombas requiere de velocidades bajas.

Las bombas reciprocantes o alternativas entraron en servicio al ver que, en varias de las aplicaciones, las bombas centrifugas no abastecían con la capacidad instalada. Estas exigencias podían ser suplantadas con el mismo tipo de bombas con un gasto excesivo de potencia y por ende exigencias en el mantenimiento de las configuraciones en las estaciones de bombeo, generando así grandes pérdidas y exagerado gasto energético.

Los usos típicos de este grupo se emplean para elevar caudales relativamente pequeños a gran altura, o en general, para generar grandes presiones existen bombas alternativas de múltiples émbolos que superan los 1000 bares.

En cuanto a los líquidos que normalmente se maneja con este tipo de bombas no existe mayor limitante, pues con las configuraciones adecuadas pueden manejarse líquidos muy viscosos, lodos y ácidos.

1.1.4. Principio de funcionamiento

Las máquinas de desplazamiento positivo se basan principalmente en el principio de Pascal, el mismo que enuncia en manera general que un fluido incompresible dentro de un recipiente de paredes indeformables, de alguna manera se puede incrementar la presión en un punto del líquido para que esta elevación se transmita íntegra e inmediatamente a todos los puntos del fluido.

Para estudiar dicho fenómeno en relación con las bombas de desplazamiento positivo reciprocantes, se tomará en cuenta un cilindro en el cual se desplaza un pistón con movimiento rectilíneo uniforme a una velocidad V , en este se encuentra un fluido incompresible a una presión p . Se considera tanto al cilindro como el pistón, como cuerpos rígidos indeformables.

El movimiento del pistón se debe a una fuerza F aplicada sobre el mismo; éste al desplazarse empuja el fluido a través de un orificio. Si el pistón recorre una longitud l , el volumen que ocupa el fluido es $A \times l$, donde A es el área transversal del pistón. Al ser un fluido incompresible, el volumen que sale por el orificio es igual al volumen que se desplaza el pistón, es decir el mismo volumen $A \times l$. El tiempo t empleado en recorrer dicha distancia es:

$$t = \frac{l}{V}$$

El gasto Q o caudal en este caso será entonces:

$$Q = \frac{A \times l}{t}$$

Reemplazando t en la ecuación anterior, se tiene que:

$$Q = A \times V$$

La potencia P comunicada al fluido, sin tomar en cuenta la fricción entre las paredes del cilindro y el pistón entonces será:

$$P = F \times V$$

$$F = p \times A$$

Entonces:

$$P = p \times A \times V = p \times Q$$

La energía mecánica otorgada ya sea por un motor eléctrico o de combustión interna, se transmite por un mecanismo cigüeñal-biela-pistón. Este tipo de bombas cuentan obligatoriamente de dos válvulas, una de succión y otra de descarga. Al moverse el pistón para dar inicio a la etapa de succión, se abre la válvula de succión y se crea un vacío dentro de la cámara, que en conjunto con la presión atmosférica empuja el líquido al interior de la cámara. Cuando el pistón se mueve en dirección contraria, se cierra la válvula de succión y se abre la de descarga, y el líquido se desplaza a una presión mayor hacia la tubería de descarga. En cada revolución del motor se realiza un solo bombeo del fluido en el cilindro.

El volumen desplazado en cada carrera, Vol , corresponde a:

$$Vol = \frac{\pi}{4} \times D^2 \times 2 \times R$$

Por lo que en condiciones ideales, el gasto teórico o caudal teórico Qt es:

$$Qt = \frac{\pi}{4} D^2 \times \frac{2RN}{60}$$

Donde:

D: Diámetro del pistón.

R: Diámetro del cigüeñal.

N: Velocidad angular del cigüeñal en r.p.m.

Se puede observar en la ecuación anterior que el caudal es independiente de la presión, y viceversa, lo cual brinda una gran ventaja sobre las bombas centrífugas. Ya que, si se requiere elevar la presión, se construye una bomba más robusta y con un motor de mayor potencia.

El caudal real Q , como es de esperarse, es menor al gasto teórico. Esto se debe a fugas en las válvulas, sellos deficientes de las mismas, o pérdidas en diversos componentes. El caudal real está dado por:

$$Q = Q_t \times n_t$$

Donde:

n_t : Eficiencia volumétrica

1.1.5. Ventajas y desventajas

La eficiencia de este tipo de bombas es una de las características que resaltan dentro de las ventajas.

Una de las características ícono de estas bombas es la cierta independencia que tiene el caudal con la presión, ya que el caudal es el resultado del volumen desplazado en cada ciclo, por el número de ciclos. Si bien es cierto que se cumple esta relación, la presión genera ciertas pérdidas volumétricas a altas velocidades, ya que puede que parte del líquido pase a la otra cara del embolo o fugue al exterior; o también una falla de la sincronización de las válvulas generando una baja de caudal.

La curva característica que relaciona presión y caudal es por tanto prácticamente una recta vertical. La regulación del caudal puede conseguirse mediante la variación de la velocidad de giro o gracias a la modificación de la cilindrada.

Otra de las grandes ventajas es ser autocebante, ya que no requiere llenar de líquido la tubería de aspiración, debido a que el desplazamiento del embolo genera una depresión de manera natural.

Una de las limitaciones de este tipo de bombas es que no tienen un funcionamiento, sino que se genera por ciclos, por la característica de su movimiento alternativo. Esto

conllea a un flujo irregular, por lo que generalmente, este tipo de bombas está conformada por varios émbolos dispuestos de manera paralela y generalmente impar. Con esto se logra un mayor caudal por una parte y también evitar la discontinuidad del flujo.

La mayoría de los problemas con las bombas reciprocantes se pueden evitar con la selección de bombas que trabajen a velocidades conservadoras, con diseño cuidadoso del sistema de bombeo y con métodos de mantenimiento que conserven la aleación entre el émbolo y el prensaestopas. (Viejo Zubicaray, 2000)

1.1.6. Clasificación

Las bombas reciprocantes, por lo general, se clasifican por sus características:

- Extremo de impulsión, es decir, potencia o acción directa.
- Orientación de la línea de centros del elemento de bombeo, es decir, horizontal o vertical.
- Número de carreras de descarga por ciclo de cada biela, es decir, acción sencilla o doble acción.
- Configuración del elemento de bombeo: pistón, émbolo o diafragma.
- Número de varillas o bielas de mando, es decir, simplex, dúplex o múltiplex.

La bomba en estudio para su construcción cabe dentro de la última clasificación, en la que corresponde a una bomba de triple embolo o triplex.

1.2. Bomba de Triple embolo

Una bomba triplex es un tipo de bomba de desplazamiento positivo utilizada en una serie de aplicaciones de alta presión. Las bombas de desplazamiento positivo trabajan con el principio de reducir gradualmente el volumen del fluido de trabajo y forzarlo en una abertura de descarga, aumentando con ello la presión, lo que da como resultado un flujo. Esta bomba es una bomba alternativa que utiliza tres émbolos o pistones para bombear el fluido de trabajo, de ahí el nombre de bomba triplex. Los pistones se usan típicamente en bombas triplex que son adecuadas para sistemas con presión de trabajo de hasta 1000 [psi], mientras que los émbolos se usan generalmente cuando la presión de trabajo excede 1000 [psi].

La construcción de estas bombas triplex es similar a la de un motor de combustión interna de tres cilindros, con tres émbolos, o pistones, en tres cilindros correspondientes. La acción de bombeo es facilitada por la naturaleza de movimiento alternativo de los émbolos de acción simple en los cilindros, los cuales trabajan tomando la succión del fluido de trabajo en la carrera hacia abajo, mientras que la presurización, así como la descarga en la carrera ascendente.

Una bomba triplex se utiliza para mover fluidos tales como lodos líquidos. La bomba desplaza los fluidos con la ayuda de movimientos físicos o mecánicos, esta consiste de varios cilindros. Estos son el tipo más común de configuración de bombas que se pueden utilizar en las operaciones de mantenimiento y perforación de pozos, se las utiliza en operaciones de servicio de pozos y generalmente son capaces de manejar una amplia gama de tipos de fluidos que incluyen fluidos abrasivos, fluidos corrosivos y lodos que contienen grandes partículas.

Un solo motor impulsa los tres émbolos, y en muchos casos, el motor primario es un motor eléctrico. Algunos otros motores principales usados para conducir una bomba triplex son motores hidráulicos y motores diésel. El movimiento alternativo de los pistones se consigue a través de un cigüeñal. El motor primario acciona el cigüeñal, lo que a su vez provoca que los tres émbolos se muevan alternativamente en un orden específico de modo que un émbolo se descargue por cada 120 grados de rotación del motor primario. A diferencia de una simple bomba de émbolo simple que produce una descarga intermitente, la bomba triplex proporciona un flujo más suave. Además, el caudal medio de una bomba triplex es significativamente mayor que el de una bomba simplex o dúplex. El volumen y la presión alcanzados por la bomba son directamente proporcionales a las RPM del motor primario, de manera que un aumento en las RPM del motor primario provoca un aumento en la presión y la salida de volumen de la bomba.

Diferentes tamaños de bombas triplex son útiles en varios ajustes. Las versiones más pequeñas se usan comúnmente como bombas de lavado de alta presión, o lavadoras a presión, mientras que las versiones muy pequeñas también se utilizan como lavadoras de energía residenciales. Las versiones más grandes del pistón y del émbolo tipo bomba se utilizan típicamente en perforación de petróleo y aplicaciones de servicio de pozo de petróleo. Independientemente del tamaño, todos los tipos pueden

ser muy eficaces en el manejo de una variedad de líquidos pesados, viscosos y corrosivos, tales como abrasivos, lodos y líquidos cargados de sólidos.

1.2.1. Ventajas y desventajas

Se presentan un resumen de las ventajas y desventajas en la Tabla 1.1.

Tabla 1.1. Ventajas y desventajas – Bombas triplex

VENTAJAS	DESVENTAJAS
<ul style="list-style-type: none"> • No se requiere de un caudal constante. • Se puede obtener altas presiones con un volumen controlado. • La variación de presión permite el movimiento del fluido. • Se permite el desplazamiento de fluidos de diferentes densidades, así como también alta viscosidad. • Capacidad de la bomba en función de la velocidad. • Rendimiento entre 85 y 94% 	<ul style="list-style-type: none"> • Costos de instalación y mantenimiento elevados. • Descarga del líquido se presenta por medio de pulsaciones y no de forma continua.

Fuente: (Propia)

1.3. Tecnología de Fundición

Los procesos empleados en la industria incluyen la fundición por presión por gravedad y por presión, la colada de fundición y la colada centrífuga, pero las características generales de la fundición se pueden introducir convenientemente en relación con un tema central, la producción de fundiciones de arena por moldeo convencional. Los pasos básicos en la secuencia desde el diseño hasta el producto terminado se resumen en el diagrama de flujo de la Figura 1.2. Una secuencia similar se aplica con pequeñas modificaciones a una amplia gama de procesos de colada. La principal excepción es la fundición a presión, en la que el principio de un patrón y un molde expandible se sustituye por el de un molde permanente que contiene una impresión negativa.

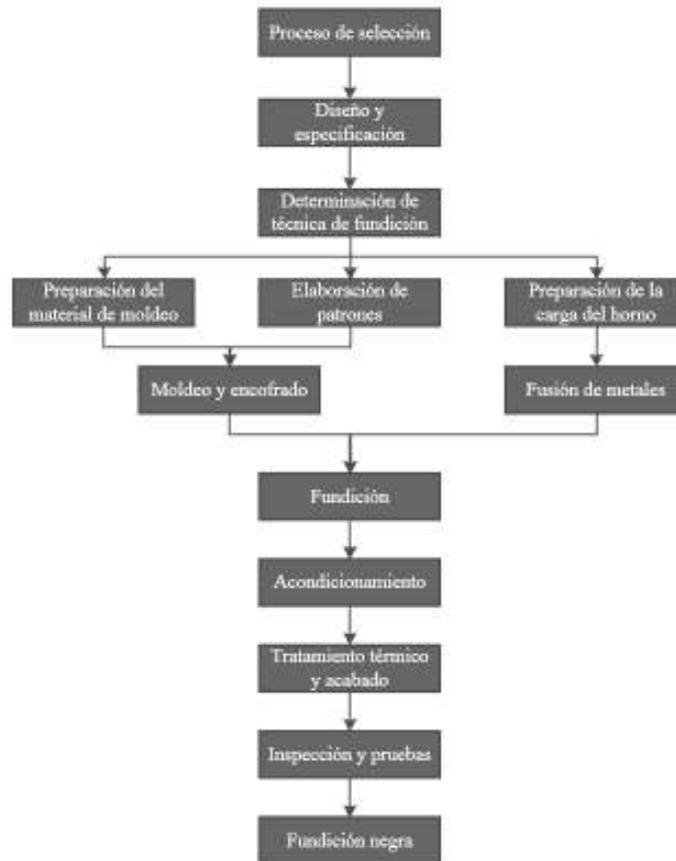


Figura 1.2. Diagrama de flujo del proceso de fundición
Fuente: (Beeley, 2001)

La variedad de problemas tecnológicos encontrados en la fundición de metales se debe en gran parte a las diferencias en las propiedades físicas y la constitución de las aleaciones. Esto se ejemplifica en la amplia gama de temperaturas de proceso: La Tabla 1.2. enumera los puntos de fusión de metales originales de grupos importantes de aleaciones de colada.

Tabla 1.2. Puntos de fusión de algunos metales

METAL	PUNTO DE FUSIÓN [°C]
Hierro	1536
Níquel	1453
Cobre	1083
Aluminio	660
Magnesio	649
Zinc	420
Plomo	327
Estaño	232

Fuente: (Jain, 2003)

Otras diferencias significativas incluyen la actividad química y la solubilidad para los gases, el modo de solidificación y las características de contracción. Estos afectan a los problemas de flujo de metal, estabilidad del molde, alimentación, enfriamiento libre de tensiones y la estructura y propiedades del material fundido: por lo tanto, se requieren técnicas individuales para cumplir con las condiciones peculiares del tipo de aleación.

Una vez que la técnica de fundición esencial se ha establecido la calidad de una fundición está influenciada por numerosas variables de proceso. Algunos de ellos sólo se pueden ajustar dentro de límites estrechos. La composición del metal, por ejemplo, está a menudo restringida por especificación, aunque en el sentido más amplio las necesidades del proceso de fundición han influido en los rangos adoptados en las especificaciones de aleación fundida: esto explica el uso frecuente de aleaciones cercanas a la composición eutéctica que muestran características favorables con respecto a la fluidez, la alimentación y la ausencia de desgarros en caliente. Sin embargo, la inoculación con cantidades muy pequeñas de ciertos elementos puede ejercer potentes efectos tanto en las características de fundición como en la estructura de colada, mientras que el control también puede ejercerse a través de las propiedades del material de moldeo, las prácticas de fusión, la temperatura de colada y la velocidad de vertido. Estas variables, junto con otras técnicas, pueden ser utilizadas para controlar todo el patrón de enfriamiento: esta es la clave principal para la estructura y calidad de la pieza acabada.

El control se ejerce a través de muchos tipos de observación y medición. En algunos casos, las determinaciones directas de temperatura, tiempo, composición o propiedades son útiles, mientras que otras pruebas empíricas tienen una relación específica a aspectos del comportamiento de la fundición, por ejemplo, fluidez del metal, evolución del gas del molde o tendencia a la formación de escamas. Estas técnicas, tanto en el laboratorio como en la fundición, forman parte del marco para el control científico de la fundición de metales. Esto también depende de la evaluación sistemática del producto fundido mediante ensayos no destructivos y el examen metalúrgico, y su correlación con las variables de producción: los procesos estadísticos y los sistemas de control de calidad pueden desempeñar un papel importante a este respecto.

Tal vez las áreas más cruciales para la investigación son las relaciones proceso-estructura-propiedades en los materiales fundidos. Los requerimientos de ingeniería modernos que requieren altos esfuerzos y condiciones extremas de servicio deben ser satisfechos por estándares más exigentes de calidad y confiabilidad. Aparte del desarrollo de nuevas aleaciones de colada y técnicas mejoradas de examen no destructivo, la capacidad de controlar la estructura puede proporcionar una correlación más positiva entre las propiedades verdaderas dentro de las fundiciones y los valores nominales o de la barra de prueba. Este enfoque se observa en el concepto de fundiciones "premium", con sus altos y garantizados niveles de propiedades internas, aunque asegurado, el rendimiento del producto se ha convertido desde entonces en una expectativa más general en el diseño y compra de piezas fundidas. Los procedimientos modernos, que incluyen el uso de normas reconocidas en la gestión y la garantía de la calidad, se establecen ahora como características importantes tanto en la fabricación como en la adquisición.

El desafío en la ingeniería de producción es combinar la filosofía de producción en masa con la flexibilidad del proceso de fundición para cantidades moderadas de componentes. Hay un cambio continuo hacia las instalaciones de capital intensivo: la planta automática, los robots y los controles sofisticados son cada vez más destacados en las operaciones de moldeo y vertido, mientras que las ayudas informáticas se buscan en todo el proceso desde el diseño hasta la fundición acabada. Tales desarrollos mejoran no sólo la productividad sino la calidad, que surgen de una mayor consistencia y reproducibilidad de las condiciones de colada.

1.4. Moldeo en arena

Por mucho, el proceso de moldeo en arena, es el más versátil de los diversos métodos y técnicas de formación de metales que incluyen forja, perforación, laminación, estampado, extrusión y muchos otros. El moldeo en arena ofrece al diseñador la mayor libertad de cualquier método de formación con una selección ilimitada de metales y aleaciones que pueden ser fácilmente arenados solos o por millones. Las fundiciones de arena se producen en una amplia gama de tamaños de una fracción de onza o más de 100 toneladas. (Ammen, 1979)

El moldeo en arena es un proceso de fabricación de forma neta basada en moldes cuyas partes metálicas se moldean vertiendo metal fundido dentro de una cavidad. La

cavidad del molde se crea retirando un patrón de arena que ha sido empaquetado alrededor de él. Dado que la huella del patrón forma la cavidad, el patrón crea la forma externa de la pieza de colada. Si la pieza tiene zonas internas huecas, éstas pueden estar formadas por núcleos de arena que se fabrican por separado y luego se colocan en la cavidad del molde. Los núcleos están soportados por impresiones de núcleo que permiten que el metal fundido fluya entre el núcleo y la pared del molde. La línea de separación está formada por la interfaz entre la capa superior (parte superior) y la parte inferior del molde. La separación y el arrastre son necesarios para permitir que el patrón sea retirado de la arena y para permitir que los núcleos estén adecuadamente posicionados dentro del molde.

1.4.1. Fundición en arena: Pasos básicos

En general, el proceso de moldeo de arena consta de cinco pasos básicos:

1. Fabricación de modelos (incluyendo cajas de núcleo).
2. Fabricación de noyos.
3. Moldeado.
4. Fusión y vertido.
5. Limpieza.

Como se muestra en la Figura 1.3., estos pasos se implementan en una serie de operaciones de fundición. Típicamente, los procesos técnicos de detalle implicados en cada una de estas operaciones son la preocupación principal de la fundición.

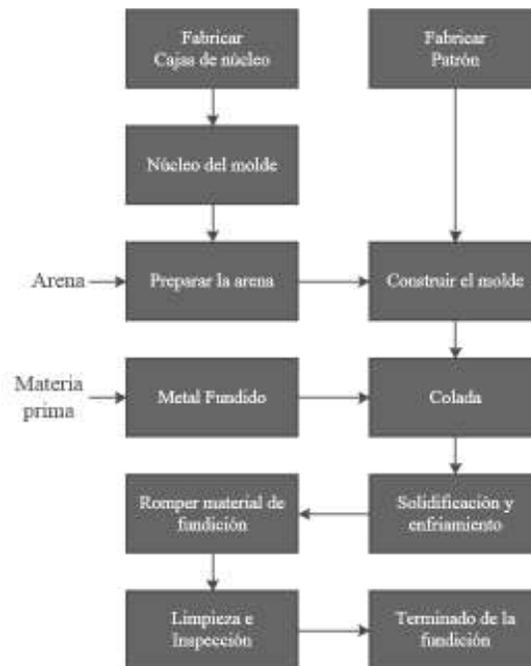


Figura 1.3. Proceso de manufactura para el proceso de moldeo en arena
Fuente: (Wang, Stoll, & Conley, 2010)

1.4.2. Procedimiento de moldeo

Se refiere al método de fabricación del molde. Las diferencias entre los procesos de moldeo de arena se encuentran principalmente en el método de formación del molde y en la unión del refractario granular. Ejemplos de procedimientos de moldeo para la colada en arena incluyen los siguientes:

1. Moldeo de arena verde
2. Moldeo de arena seca
3. Moldeo de núcleo-arena o núcleo
4. Moldeo de cáscaras

1.5. Preparación de colada y tratamiento

Las propiedades de una colada dependen principalmente de las materias primas utilizadas y cualquier tratamiento que la aleación experimente en la etapa de fusión puede tener efectos considerables en estas propiedades. En el diseño de piezas de fundición se debe consultar con una fundición adecuada durante la fase de diseño, ya que la fundición puede ofrecer asesoramiento para dar como resultado la fiabilidad de

la fundición, la economía en el mecanizado y la selección del metal desde el que se debe producir la fundición. La selección de la amplia gama de metales ferrosos y no ferrosos debe depender de las características finales requeridas en la fundición.

Los metales ferrosos generalmente se pueden dividir en hierro gris sin alear, hierro gris aleado, hierros maleables de color blanco y negro, hierros esferoidales de grafito (o nodulares), hierros de proceso y acero.

1.5.1. Aleaciones de aluminio

Las fundiciones de aluminio han jugado un papel integral en el crecimiento de la industria del aluminio desde sus inicios a finales del siglo XIX. Los primeros productos comerciales de aluminio fueron las fundiciones, tales como utensilios de cocina y piezas decorativas, que aprovecharon la novedad y la utilidad del nuevo metal. Esas aplicaciones tempranas se expandieron rápidamente para satisfacer los requisitos de una amplia gama de especificaciones de ingeniería.

Hoy en día, las fundiciones de aleación de aluminio se producen en cientos de composiciones por todos los procesos comerciales de fundición, incluyendo arena verde, arena seca, molde compuesto, molde de yeso, fundición de inversión, molde permanente, fundición a baja presión de contra-gravedad y fundición a presión.

1.5.1.1. Composición química

Los sistemas utilizados para designar composiciones de colada no están estandarizados internacionalmente. En los Estados Unidos, las listas generales se mantienen por las especificaciones generales de adquisiciones emitidas a través de agencias gubernamentales y por sociedades técnicas como la Sociedad Americana de Ensayos y Materiales y la Sociedad de Ingenieros Automotrices. Los registros de aleaciones de la Asociación del Aluminio son de uso más amplio; su nomenclatura se decimaliza para definir variaciones en la composición de la aleación de fundición.

Las denominaciones en la forma xxx.1 y xxx.2 incluyen la composición de aleaciones específicas en forma de lingotes fundidos adecuados para el uso de fundición. Las designaciones en la forma xxx.0 en todos los casos definen límites de composición aplicables a las piezas fundidas. Otras variaciones en composiciones especificadas se indican mediante letras de prefijo utilizadas principalmente para definir diferencias en

los límites de impurezas. Por consiguiente, una de las aleaciones fundidas por gravedad más comunes, 356, se muestra en las variaciones A356, B356 y C356.

El sistema de designación de la Asociación de Aluminio intenta el reconocimiento de la familia de aleaciones por el siguiente esquema:

- 1xx.x: Composiciones controladas sin alear.
- 2xx.x: Aleaciones de aluminio que contienen cobre como principal elemento de aleación.
- 3xx.x: Aleaciones de aluminio-silicio que contienen también magnesio y / o cobre.
- 4xx.x: Aleaciones binarias de aluminio y silicio.
- 5xx.x: Aleaciones de aluminio que contienen magnesio como principal elemento de aleación.
- 6xx.x: Actualmente no utilizado.
- 7xx.x: Aleaciones de aluminio que contienen zinc como principal elemento de aleación, generalmente también contienen adiciones de cobre, magnesio, cromo, manganeso o combinaciones de estos elementos.
- 8xx.x: Aleaciones de aluminio que contienen estaño como principal elemento de aleación.
- 9xx.x: Actualmente no utilizado.

2. METODOLOGÍA

2.1. Diseño de los elementos de una bomba de desplazamiento positivo

El tipo de bomba de desplazamiento positivo fijada para este diseño es una bomba reciprocante de tres cilindros. Este diseño o configuración ha sido definido para la fabricación de un prototipo de bomba, desarrollado en otras tesis que conforman este proyecto. Este tipo de bombas como se detalla en el capítulo anterior, tiene como componentes principales un sistema cigüeñal-biela-pistón que generan el bombeo del fluido, por la disminución del volumen de una sección a otra que se da generalmente en la cámara de presión.

El sistema de soporte y conexión de la bomba reciprocante de tres cilindros seleccionada, se compone por una estructura, un separador para el fluido de bombeo y el lubricante, y componentes para formar el sello del sistema. La estructura tiene como principal función el dar soporte a los elementos que componen el sistema interno, además de dar protección del medio externo a las demás partes del sistema y entregar las condiciones que garanticen el buen funcionamiento de este. El separador tiene como principal función la de generar un medio aislado al fluido de trabajo con el lubricante, además de servir de soporte, en conjunto con la estructura, para todos los componentes. Los componentes de sello para el sistema son bridas que, en conjunto con los empaques requeridos para el sistema, brindan las condiciones de hermeticidad para el buen funcionamiento de la bomba.

2.1.1. Especificaciones técnicas requeridas

Tabla 2.1. Especificaciones técnicas de la bomba de triple émbolo.

MEDIO EN EL QUE SE DESENVUELVE	Ligeramente corrosivo
FLUIDO DE TRABAJO	Agua
PRESIÓN DE DISEÑO	6000 [psi]
VELOCIDAD ANGULAR	200 [rpm]
DIMENSIONES DE LOS COMPONENTES FABRICADOS Y DISEÑADOS EN TESIS DEL MISMO PROYECTO: - DIÁMETRO DEL PISTON - LONGITUD DEL PISTON - LONGITUD DE LA BIELA - DIÁMETRO EXTERIOR MAYOR DE LAS TAPAS DE	80 [mm] 95 [mm] 185 [mm]

ASIENTO DEL CIGÜEÑAL	150 [mm]
- DIÁMETRO EXTERIOR MENOR DE LAS TAPAS DE ASIENTO DEL CIGÜEÑAL	100 [mm]
- DIÁMETRO PLUNGER O INYECTOR	25 [mm]
- LONGITUD PLUNGER O INYECTOR	270 [mm]
- DIÁMETRO DE LA CAMARA DE PRESION	70 [mm]
CAPACIDAD DE LUBRICANTE REQUERIDA	2 [L]

Fuente: (Guanuchi Suqui & Moposita Tituaña, 2017) (Calderón Freire & Flores Taris, 2017)

2.1.2. Diseño conceptual

Existen en general dos formas de dar soporte y conexión al sistema interno de la bomba, la primera es realizar una sola pieza sobre la cual se monten todos los demás componentes; y la otra, es realizar dos cuerpos con distintas funciones. Dar soporte a todos los elementos del sistema y garantizar el funcionamiento de los mismos, mientras que la principal función del segundo, es dividir en dos compartimientos que permitan separar el fluido de trabajo para el bombeo, con el otro que es el lubricante.

Para seleccionar la mejor alternativa, se realiza una matriz de selección, ponderando de la siguiente manera:

- Importancia o Peso del parámetro de selección: 1 nada importante – 10 muy importante.
- Calificación del parámetro: 1 bajo desempeño – 5 excelente desempeño.

Tabla 2.2. Matriz de selección del sistema de soporte y conexión.

PARÁMETRO DE VALORACIÓN	Peso	Un solo cuerpo		Dos cuerpos	
		Puntaje	Puntaje	Puntaje	Puntaje
Costo de fabricación del modelos y cajas de noyos	8	4	32	3	24
Costo de material para la fabricación	3	4	12	3	9
Dificultad de Moldeo	7	2	14	4	28
Dificultad de fabricación de los noyos	7	3	21	4	28
Facilidad de montaje	6	3	18	4	24
Mantenibilidad	5	3	15	4	20
Maquinabilidad	8	3	24	4	32
Capacidad del horno requerida	6	3	18	4	24
Probabilidad de falla durante la fabricación	5	3	15	4	20
PROMEDIO TOTAL PONDERADO			18.8		23.2

Fuente: (Propia)

Como se puede observar en la Tabla 2.2., el diseño con dos cuerpos presenta mejores resultados, por lo cual se la escoge como la mejor alternativa para el diseño.

El cuerpo que brindará soporte a los elementos del sistema cigüeñal-biela-pistón, se lo denominará Carcasa, mientras que el elemento cuya principal función es la de separar los fluidos de trabajo y de lubricación se la denominará Separador.

En la industria internacional existen varias empresas que se dedican a la fabricación de este tipo de bombas. Una de las empresas más grandes en el mundo dentro de esta industria es GASO; un esquema de la solución planteada por esta empresa se muestra en la Figura 2.1., esta servirá de guía para el desarrollo del diseño conceptual del presente proyecto.

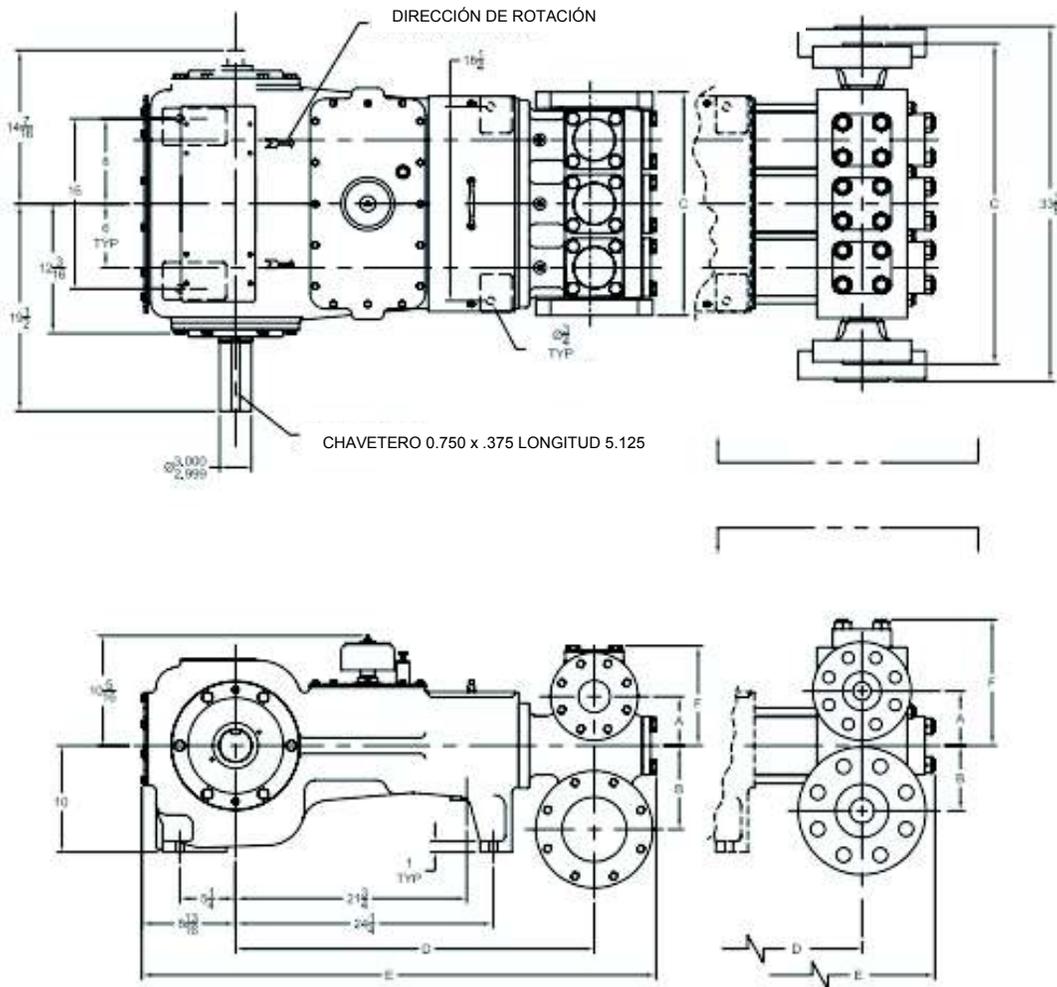


Figura 2.1. Diseño conceptual de la carcasa y separador
Fuente: (Gaso, s.f.)

2.1.3. Determinación de cargas

Se representa el sistema cigüeñal-biela-pistón en el plano, para realizar el análisis cinemático y posterior análisis dinámico del sistema.

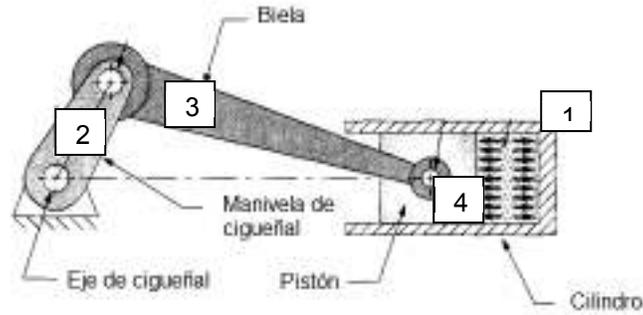


Figura 2.2. Diagrama del sistema
Fuente: (Slideshare, 2017)

Se procede con el análisis cinemático del pistón. Se determina en primer lugar la ecuación que describe la posición del pistón, dada por:

$$x = r(1 - \cos \theta) + l(1 + \cos \alpha) \quad (2.1)$$

Donde:

x , es la posición del pistón, [m]

r , es la distancia del brazo del cigüeñal, [m]

l , es la longitud de la biela, [m]

θ , es el ángulo formado entre la horizontal y el brazo del cigüeñal, [°]

α , es el ángulo formado entre la horizontal y la biela, [°]

De la línea vertical que cae desde la junta del brazo del cigüeñal y la biela se extrae la siguiente ecuación:

$$r \operatorname{sen} \theta = l \operatorname{sen} \alpha$$

$$\operatorname{sen} \alpha = \frac{r}{l} \operatorname{sen} \theta$$

$$\alpha = \operatorname{sen}^{-1} \left(\frac{r}{l} \operatorname{sen} \theta \right)$$

$$\cos \alpha = \sqrt{1 - \text{sen}^2 \alpha}$$

$$\cos \alpha = \sqrt{1 - \left[\text{sen} \left(\text{sen}^{-1} \left(\frac{r}{l} \text{sen} \theta \right) \right) \right]^2}$$

$$\cos \alpha = \sqrt{1 - \left(\frac{r}{l} \text{sen} \theta \right)^2}$$

Reemplazando en la ecuación (2.1) queda:

$$x = r(1 - \cos \theta) + l \left(1 - \sqrt{1 - \left(\frac{r}{l} \text{sen} \theta \right)^2} \right)$$

Se considera el funcionamiento del sistema con velocidad constante, por lo que θ queda en función del tiempo como:

$$\theta = \omega t$$

Donde:

ω , es la velocidad angular del cigüeñal, $\left[\frac{\text{rad}}{\text{s}} \right]$

t , es el tiempo, [s]

$$x(t) = r - r \cos(\omega t) + l - l \sqrt{1 - \left(\frac{r}{l} \text{sen}(\omega t) \right)^2}$$

Encontrada la ecuación del movimiento en función del tiempo, derivando la misma, se encuentra la ecuación de la velocidad y aceleración respectivamente.

$$\dot{x}(t) = r\omega \text{sen}(\omega t) + \frac{r^2 \omega \cos(\omega t) \text{sen}(\omega t)}{l \left(1 - \frac{r^2}{l^2} \text{sen}^2(\omega t) \right)^{0.5}} \quad (2.2)$$

$$\ddot{x}(t) = r\omega^2 \cos(\omega t) + \frac{r^2 \omega^2 \cos^2(\omega t)}{l \left(1 - \left(\frac{r}{l} \right)^2 \text{sen}^2(\omega t) \right)^{0.5}} - \frac{r^2 \omega^2 \text{sen}^2(\omega t)}{l \left(1 - \frac{r^2}{l^2} \text{sen}^2(\omega t) \right)^{0.5}} + \frac{r^4 \omega^2 \cos^2(\omega t) \text{sen}^2(\omega t)}{l^3 \left(1 - \left(\frac{r^2}{l^2} \right) \text{sen}^2(\omega t) \right)^{3/2}} \quad (2.3)$$

En la Figura 2.3. se muestra un diagrama del cuerpo libre del cigüeñal en forma tridimensional en la cual se puede observar las fuerzas que se encuentran ejercidas sobre el mismo. Se realiza el análisis sobre el cigüeñal, dado que se desea determinar las cargas sobre los apoyos. La dirección de los pistones sobre la cual se ejerce la

fuerza debida a la presión de bombeo, es en el eje x. La fuerza debida a la masa de los componentes es ejercida sobre el eje z. El análisis sobre las fuerzas que actúan sobre el cigüeñal, permite determinar las fuerzas ejercidas sobre los apoyos que es de interés para el presente proyecto.

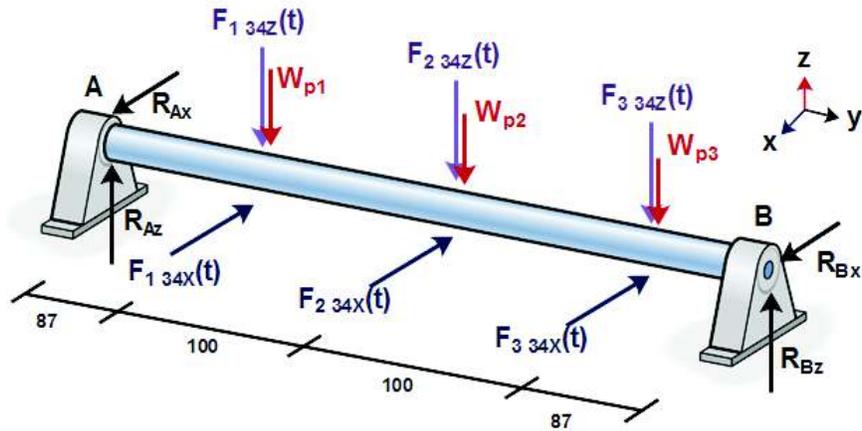


Figura 2.3. Diagrama de cuerpo libre del cigüeñal tridimensional
Fuente: (Propia)

En primer lugar, se determinan las dimensiones que entran dentro del análisis, las mismas que son el peso de los elementos, velocidad de funcionamiento y presión de bombeo.

$$w_{cigüeñal} = 8.621 [kg] \times 9.8 \left[\frac{m}{s^2} \right] = 84.5 [N]$$

$$w_{piston} = 1.835 [kg] \times 9.8 \left[\frac{m}{s^2} \right] = 17.98 [N]$$

$$w_{biela} = 1.15 [kg] \times 9.8 \left[\frac{m}{s^2} \right] = 11.27 [N]$$

$$w_{inyector} = 1 [kg] \times 9.8 \left[\frac{m}{s^2} \right] = 9.8 [N]$$

$$w_{tapas} = 2.906 [kg] \times 9.8 \left[\frac{m}{s^2} \right] = 28.48 [N]$$

$$\omega = cte = 200 [rpm] = 20.944 \left[\frac{rad}{s} \right]$$

$$P_{max} = 6000 [psi]$$

Donde:

$w_{cigüeñal}$: Peso del cigüeñal, [N]

w_{piston} : Peso del pistón, [N]

w_{biela} : Peso de la biela, [N]

$w_{inyector}$: Peso del inyector, [N]

w_{tapas} : Peso de las tapas laterales, [N]

P_{max} : Presión máxima que se ejerce sobre el inyector, [psi]

Posteriormente, se procede a calcular estas reacciones en la dirección de las fuerzas del sistema en funcionamiento, es decir, en el eje x, para lo cual se toman las siguientes suposiciones.

- Los componentes cigüeñal-biela-pistón se encuentran correctamente balanceados, lo cual quiere decir que no generan una carga sobre los apoyos durante el funcionamiento.
- El acabado superficial y correcta lubricación de los elementos en funcionamiento, permiten suponer una fuerza de fricción mínima entre cada elemento ensamblado en movimiento.

Al estar balanceado el sistema cigüeñal-biela-pistón, estos elementos no generarán cargas sobre la carcasa como consecuencia de desbalanceo. Las fuerzas externas dadas por la presión de bombeo, son aplicadas sobre el pistón, y éstas serán transmitidas a los apoyos. A continuación, se muestra la Figura 2.4. en la cual se aprecia el diagrama del cuerpo libre del pistón, para realizar el análisis dinámico en el mismo.

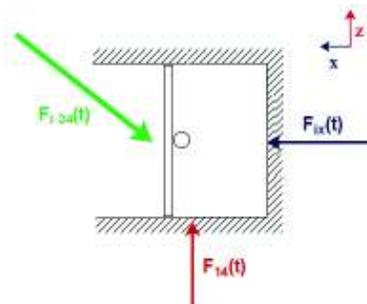


Figura 2.4. Diagrama de cuerpo libre del pistón
Fuente: (Propia)

Se realizará primero el análisis del pistón en la dirección x

$$\begin{aligned}\sum F_x &= m_p a_x = m_p \ddot{x}_i(t) \\ F_{ix}(t) - F_{i34x}(t) &= m_p \ddot{x}_i(t) \\ F_{i34x}(t) &= F_{ix}(t) - m_p \ddot{x}_i(t)\end{aligned}\tag{2.4}$$

Donde:

m_p , es la masa del pistón, 1.835[kg]

a_x , es la aceleración del pistón en la dirección x, [m/s]

$\ddot{x}(t)$, aceleración del pistón en función del tiempo de la ecuación (2.3), [m/s]

$F_{ix}(t)$, es la fuerza que ejerce cada pistón sobre el cigüeñal. [N]

$F_{i34x}(t)$, es la fuerza que ejerce el cigüeñal sobre el bulón del pistón en la dirección x, [N]

El subíndice i de cada término, corresponde al número de cada cilindro, los mismos que tienen una fuerza en función del tiempo desfasada por un ángulo ϕ .

La fuerza $F_{ix}(t)$, después de realizado el análisis para determinar la misma se encuentra que es:

$$F_{ix}(t) = \frac{F_{max}}{2} * (1 - \text{sen}(\frac{\pi}{2} - \omega * t + 2 * \phi_i))\tag{2.5}$$

Donde:

F_{max} , es la fuerza máxima debida a la presión en el punto muerto superior de mayor presión. [N]

ϕ_i : Ángulo de desfase, $\frac{2}{3} \pi$ [rad].

Reemplazando la ecuación (2.5) en la ecuación (2.4) se obtiene:

$$F_{i34x}(t) = \frac{F_{max}}{2} * (1 - \text{sen}(\frac{\pi}{2} - \omega * t + 2 * \phi_i)) - m_p \ddot{x}_i(t)\tag{2.6}$$

Donde esta F_{max} corresponde a la fuerza máxima que soporta el pistón durante la carrera, es decir cuando está en el punto muerto superior, en el cual la presión es máxima. Para determinar esta fuerza es necesario conocer el área sobre la cual se ejerce esta presión, la cual corresponde al área del inyector $A_{inyector}$. Por lo tanto F_{max} es:

$$F_{max} = P_{max} \times A_{inyector}$$

$$A_{inyector} = 346.361 [mm^2] = 0.537 [in^2]$$

$$F_{max} = 3222 [lbf] = 14332.18 [N]$$

Por lo que la ecuación para cada pistón entonces es:

$$F_{1\ 34_x}(t) = \left[\left(\frac{14332.18}{2} \right) \times \left(1 - \text{sen} \left(\frac{\pi}{2} - \omega t + 2 * \phi_1 \right) \right) \right] - m_p \ddot{x}_1(t)$$

$$F_{2\ 34_x}(t) = \left[\left(\frac{14332.18}{2} \right) \times \left(1 - \text{sen} \left(\frac{\pi}{2} - \omega t + 2 * \phi_2 \right) \right) \right] - m_p \ddot{x}_2(t)$$

$$F_{3\ 34_x}(t) = \left[\left(\frac{14332.18}{2} \right) \times \left(1 - \text{sen} \left(\frac{\pi}{2} - \omega t + 2 * \phi_3 \right) \right) \right] - m_p \ddot{x}_3(t)$$

Determinadas estas fuerzas aplicadas en el eje x, se procede a determinar en la dirección y. De la Figura 2.6, se extrae la ecuación de sumatoria de fuerzas:

$$\sum F_y = 0$$

$$F_{14} - F_{i\ 34_z}(t) - w_{piston} = 0$$

Donde:

F_{14} , es la fuerza que ejerce el cilindro sobre el pistón, [N]

$F_{i\ 34_z}(t)$, es la fuerza que ejerce el cigüeñal sobre el bulón del pistón en la dirección z, [N]

$$F_{i\ 34_z}(t) = F_{14}(t) - w_{piston}$$

$$\tan \alpha = \frac{F_{14}(t) - w_{piston}}{F_{ix}(t)}$$

$$\tan \alpha = \frac{\text{sen } \alpha}{\text{cos } \alpha} = \frac{\frac{r}{l} \sin \omega * t}{\sqrt{1 - \left(\frac{r}{l} \text{sen } \omega * t\right)^2}}$$

$$F_{i_{34z}}(t) = F_{ix}(t) * \tan \alpha$$

$$F_{i_{34z}}(t) = F_{ix}(t) * \frac{\frac{r}{l} \sin \omega * t}{\sqrt{1 - \left(\frac{r}{l} \text{sen } \omega * t\right)^2}} \quad (2.7)$$

Reemplazando la ecuación (2.5) en la ecuación (2.7) se tiene:

$$F_{1_{34z}}(t) = \frac{F_{max}}{2} * \left(1 - \text{sen}\left(\frac{\pi}{2} - \omega * t + 2 * \phi_1\right)\right) * \frac{\frac{r}{l} \text{sen } \omega * t}{\sqrt{1 - \left(\frac{r}{l} \text{sen } \omega * t\right)^2}}$$

$$F_{2_{34z}}(t) = \frac{F_{max}}{2} * \left(1 - \text{sen}\left(\frac{\pi}{2} - \omega * t + 2 * \phi_2\right)\right) * \frac{\frac{r}{l} \text{sen } \omega * t}{\sqrt{1 - \left(\frac{r}{l} \text{sen } \omega * t\right)^2}}$$

$$F_{3_{34z}}(t) = \frac{F_{max}}{2} * \left(1 - \text{sen}\left(\frac{\pi}{2} - \omega * t + 2 * \phi_3\right)\right) * \frac{\frac{r}{l} \text{sen } \omega * t}{\sqrt{1 - \left(\frac{r}{l} \text{sen } \omega * t\right)^2}}$$

Realizado el análisis y determinadas las fuerzas que se ejercen sobre el cigüeñal, se procede con el análisis sobre el cigüeñal para determinar las reacciones.

Primero se realiza el análisis en el plano x-y, el mismo que se muestra en la Figura 2.5.

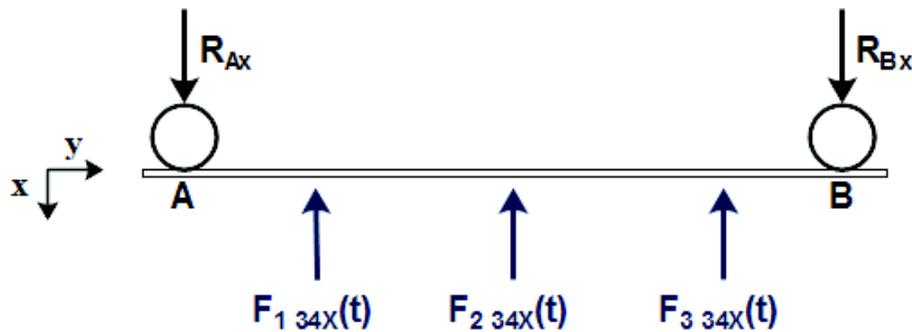


Figura 2.5. Diagrama del cuerpo libre del cigüeñal en el plano x-y.
Fuente: (Propia)

$$\sum F_x = 0$$

$$R_{AX} + R_{BX} = F_{1\ 34x}(t) + F_{2\ 34x}(t) + F_{3\ 34x}(t) \quad (2.8)$$

Donde:

R_{AX} : Reacción en el punto A de la carcasa sobre el cigüeñal en la dirección x, [N]

R_{BX} : Reacción en el punto B de la carcasa sobre el cigüeñal en la dirección x, [N]

Como se observa en la ecuación (2.8), para calcular las reacciones se requiere la sumatoria de las fuerzas $F_{1\ 34x}(t)$, $F_{2\ 34x}(t)$ y $F_{3\ 34x}(t)$ dependientes del tiempo, por lo que se realiza la sumatoria de estas fuerzas con el software Matlab. En la Figura 2.6. se muestra la sumatoria de las fuerzas.

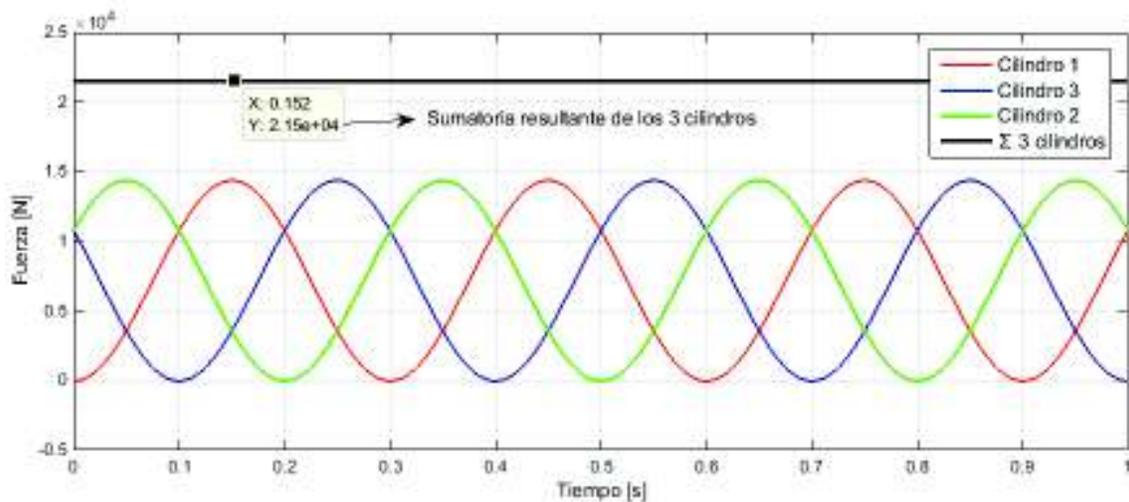


Figura 2.6. Gráfica de las fuerzas de cada pistón en el eje x
Fuente: (Propia)

Se observa en la Figura 2.6. que la resultante de esta sumatoria es una constante $F_{123x} = 21500[N]$.

$$R_{AX} + R_{BX} = F_{123x} = 21500 [N]$$

Para determinar las reacciones en los apoyos, se procede a realizar una sumatoria de momentos en el punto A, entregando así una sumatoria dada por:

$$\sum M_A = 0$$

$$374R_{BX} = 187 F_{123x}$$

$$R_{BX} = \frac{2019600}{374} = 10750[N]$$

$$R_{AX} = 10750 [N]$$

De igual manera, se procede con el análisis en el plano z-y para el cigüeñal para encontrar las reacciones en los apoyos. El mismo que se muestra en la Figura 2.7.

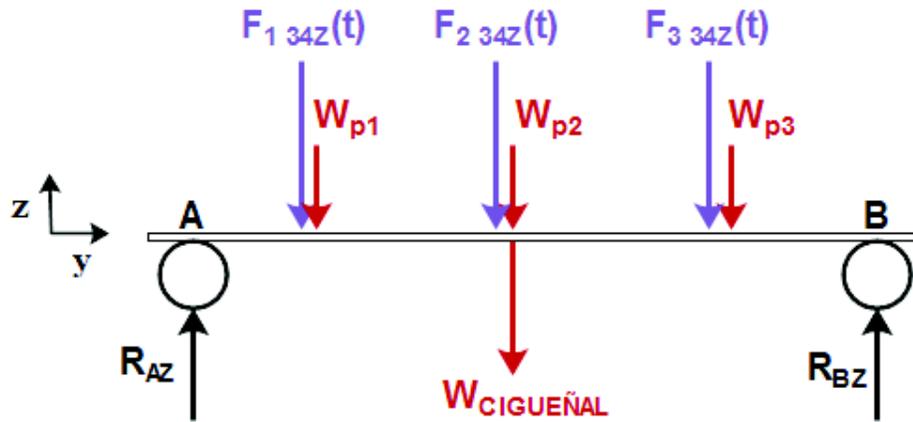


Figura 2.7. Diagrama del cuerpo libre del cigüeñal en el plano z-y.
Fuente: (Propia)

Se procede a determinar las fuerzas que se ejercen sobre el cigüeñal, siendo estas el peso del conjunto biela pistón $w_{p1} = w_{p2} = w_{p3} = w_p$.

$$w_p = w_{biela} + w_{piston}$$

$$w_p = 29.25[N]$$

$$w_{cigüeñal} = 84.5[N]$$

$$\sum F_z = 0$$

$$R_{AZ} + R_{BZ} = 3w_p + w_{cigüeñal} + F_{1\ 34z}(t) + F_{2\ 34z}(t) + F_{3\ 34z}(t) \quad (2.9)$$

De igual manera, como se observa en la ecuación (2.9), se requiere la resultante de la sumatoria de fuerzas $F_{1\ 34z}(t)$, $F_{2\ 34z}(t)$ y $F_{3\ 34z}(t)$; la misma que se observa la Figura 2.8.

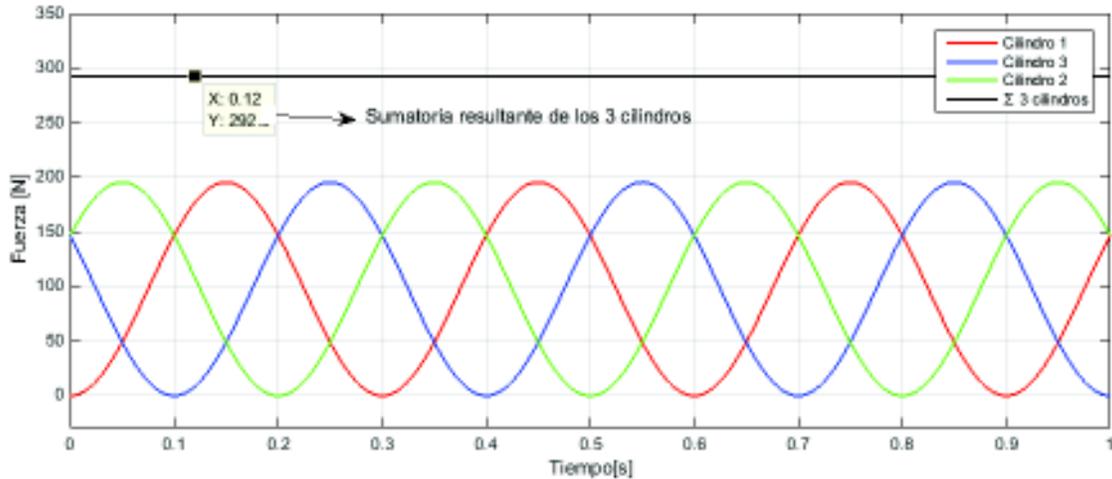


Figura 2.8. Grafica de las fuerzas de cada pistón en el eje z
Fuente: (Propia)

De igual forma como se observa en la Figura 2.8, la resultante de esta sumatoria es una constante $F_{123z} = 292.5 [N]$.

$$R_{AZ} + R_{BZ} = 3w_p + w_{cig} + F_{123z} = 464.75 [N]$$

$$\sum M_A = 0$$

$$374R_{BZ} = 87w_p + 187w_p + 287w_p + 187w_{cig} + 187 F_{123z}$$

$$R_{BZ} = \frac{59662.35}{374} = 232.375[N]$$

$$R_{AZ} = 232.375 [N]$$

2.1.4. Selección del material

La selección del material se lo realizará con la herramienta computacional CES EduPack 2015.

Para este propósito se fijará en primer lugar las condiciones del medio al cual va a estar sometido el elemento. La bomba será utilizada para elevar la presión de agua, por lo que debe presentar excelentes propiedades de durabilidad con el medio con el que va a estar en contacto. Adicional, por el tamaño y complejidad de los elementos a fabricar, estos serán producidos por fundición; por lo cual debe presentar excelentes propiedades de fundición. Una vez determinado que se realizará la fabricación por

fundición, se limita al universo de materiales a únicamente metales. En términos generales se requieren los siguientes parámetros:

- Proceso de manufactura:
 - Fundición de metal: excelente
- Durabilidad en contacto con el medio:
 - Agua dulce: Excelente
 - Agua salada: aceptable
 - Contacto con ácidos: aceptable
 - Contacto con alcalinos: aceptable
 - Contacto con solventes orgánicos: excelente

Ingresando los parámetros dentro de los límites y tomando en cuenta únicamente los metales, se reduce el universo de materiales de 1895 metales a 34, de los cuales, todos son aleaciones de aluminio, como se puede observar en la Figura 2.9.

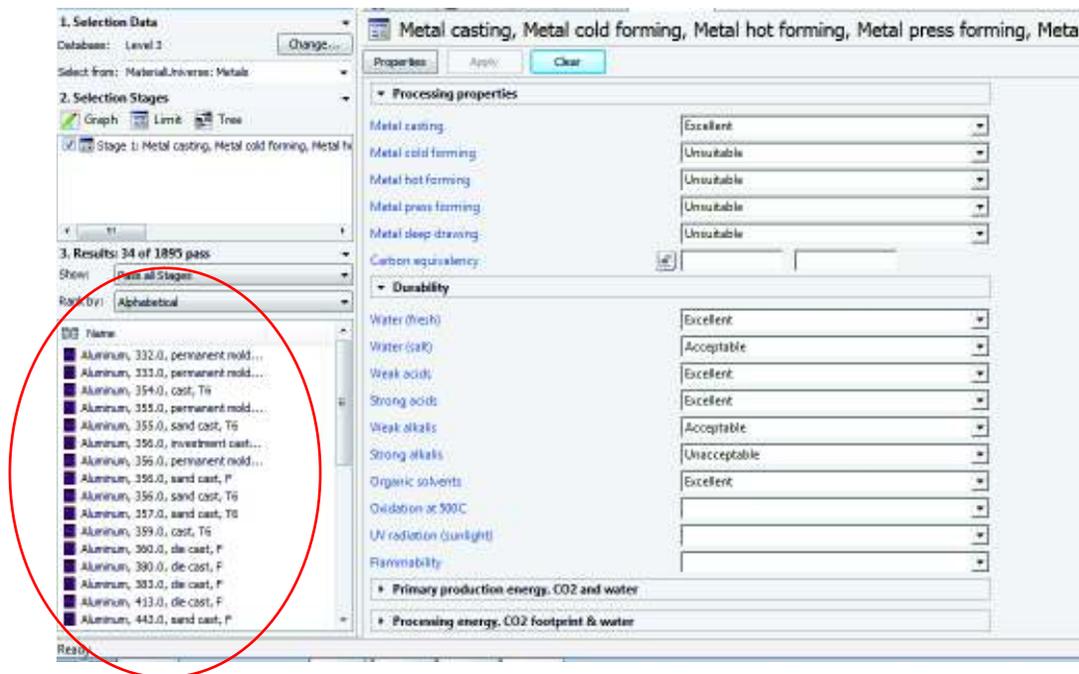


Figura 2.9. Seleccionador de Materiales CES EduPack 2015, opción de limitar el universo de materiales

Fuente: (Propia)

Posteriormente se procede a determinar mediante gráficos de propiedades de los materiales, aquellos que mejor se adaptan a los requerimientos de: propiedades mecánicas, costo, y densidad requeridos.

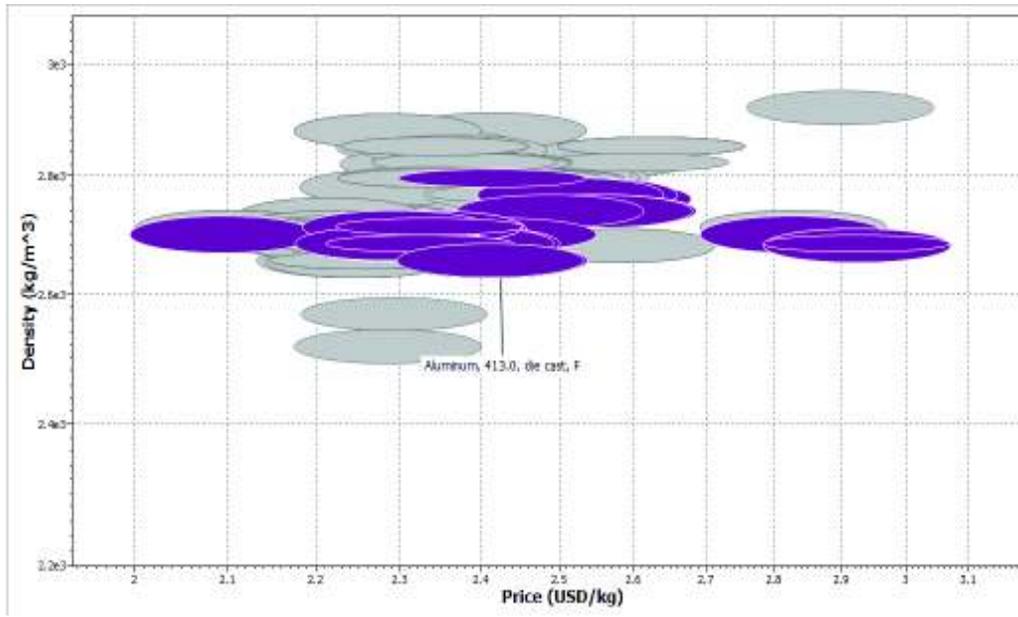


Figura 2.10. Densidad vs. Precio de las aleaciones encontradas
Fuente: (Propia)

Como se observa en la Figura 2.10., la aleación con menor densidad, es la aleación A413.0.

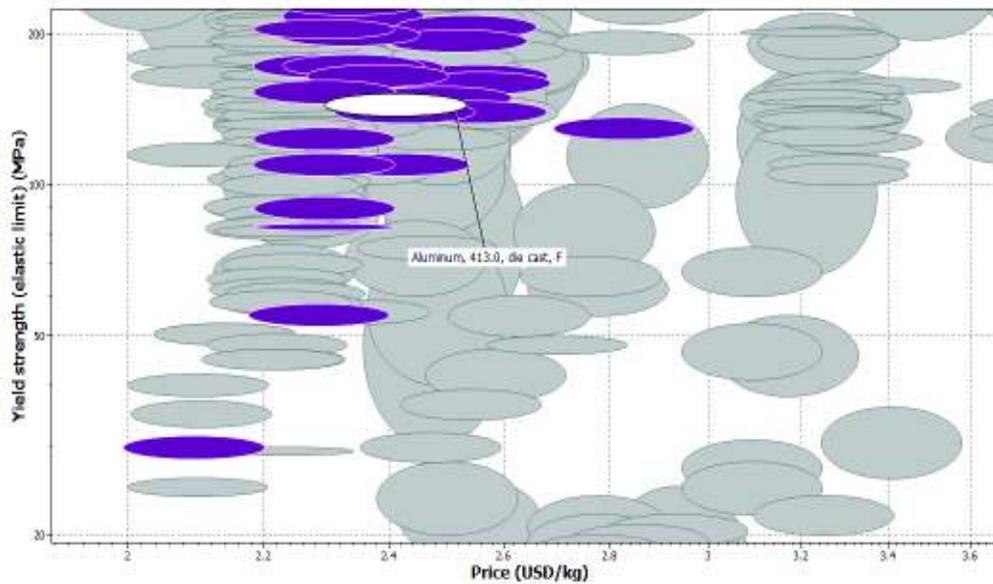


Figura 2.11. Límite Elástico vs. Precio de las aleaciones encontradas
Fuente: (Propia)

En la Figura 2.11., la aleación A 413.0 corresponde a una de las aleaciones con mejor límite elástico y dentro de un precio promedio no elevado.

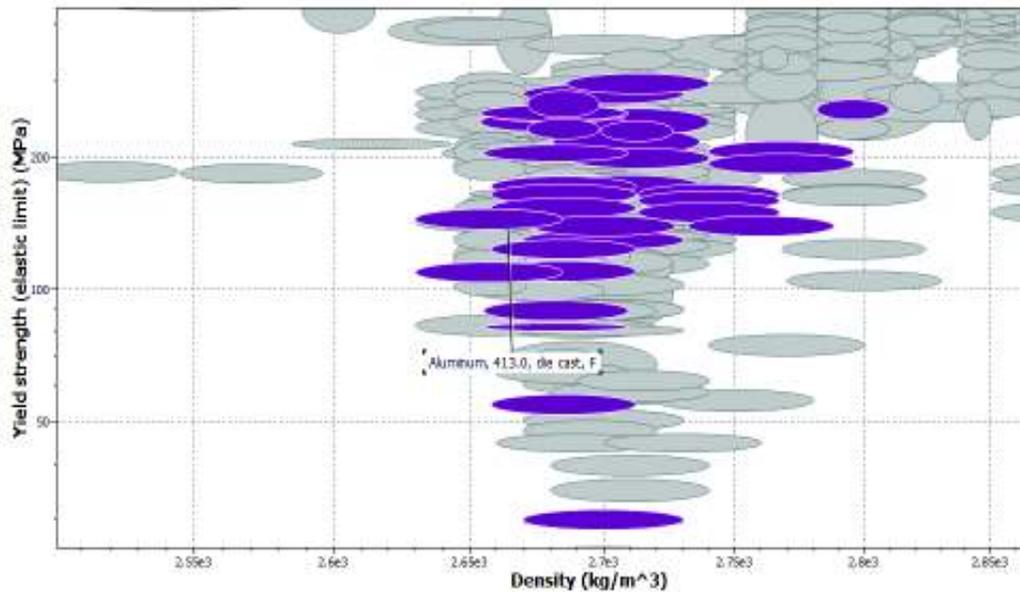


Figura 2.12. Límite elástico vs Densidad de las aleaciones encontradas
Fuente: (Propia)

Se llega a la conclusión que el mejor material para la fabricación de los componentes mecánicos es la aleación A 413.0, debido a que como se puede ver en la Figura 2.12., esta aleación tiene la mejor relación límite elástico - densidad en relación con las otras.

Se muestran el detalle de composición química, precio, densidad y propiedades mecánicas de mayor uso de la aleación A413.0 en la Tabla 2.3.

Tabla 2.3. Propiedades del aluminio A413.0

Composición química			
Elemento	Min. %	Max. %	Units
Al	82.8	89	%
Cu	0	1	%
Fe	0	1.3	%
Mg	0	0.1	%
Mn	0	0.35	%
Ni	0	0.5	%
Si	11	13	%
Sn	0	0.15	%
Zn	0	0.5	%
Otros	0	0.25	%
Precio			
Precio	2.3	2.54	USD / kg

Propiedades mecánicas			
Módulo de Young	69.6	72.4	GPa
Límite Elástico	105	116	MPa
Resistencia a la Tracción	241	265	MPa
Elongación	3.5	4.2	%
Resistencia a la Compresión	105	116	MPa

Fuente: CES Education Pack 2015

Un detalle extenso de todas las propiedades del material, se puede consultar en el Anexo 1. Propiedades aluminio A413.0

2.1.5. Dimensionamiento

Principalmente las dimensiones del sistema de soporte y conexión se basan en lo requerimientos técnicos de la Tabla 2.1, por lo que las dimensiones de la carcasa y separador se deberán ajustar a dicha tabla para el ensamble de los elementos en mención.

Para el diseño de la Carcasa se toman en cuenta las dimensiones requeridas para el ensamble de los siguientes elementos: cigüeñal, tapas laterales, bielas y pistones.

Las dimensiones del diámetro de los cilindros y del diámetro de los agujeros laterales en las que se ensamblan las tapas son inamovibles, dado que el diseño de dichos elementos se encuentra ya fijado. (Calderón Freire & Flores Taris, 2017)

Las dimensiones finales después de la fabricación por fundición, tendrán un sobredimensionamiento tal que permita un maquinado final con el acabado, dimensiones y tolerancias finales de ensamble. Estas sobredimensiones de maquinado se calculan en próximos capítulos.

Fijados estos parámetros, se procede a determinar el espacio mínimo para el funcionamiento del sistema cigüeñal- biela-pistón. Para este proceso, se usará el software CAD (Figura 2.13.), realizando el ensamble de estos elementos se determina este diámetro mínimo. Se determina entonces un diámetro interno de 170 [mm] para tener mayor holgura para el funcionamiento.

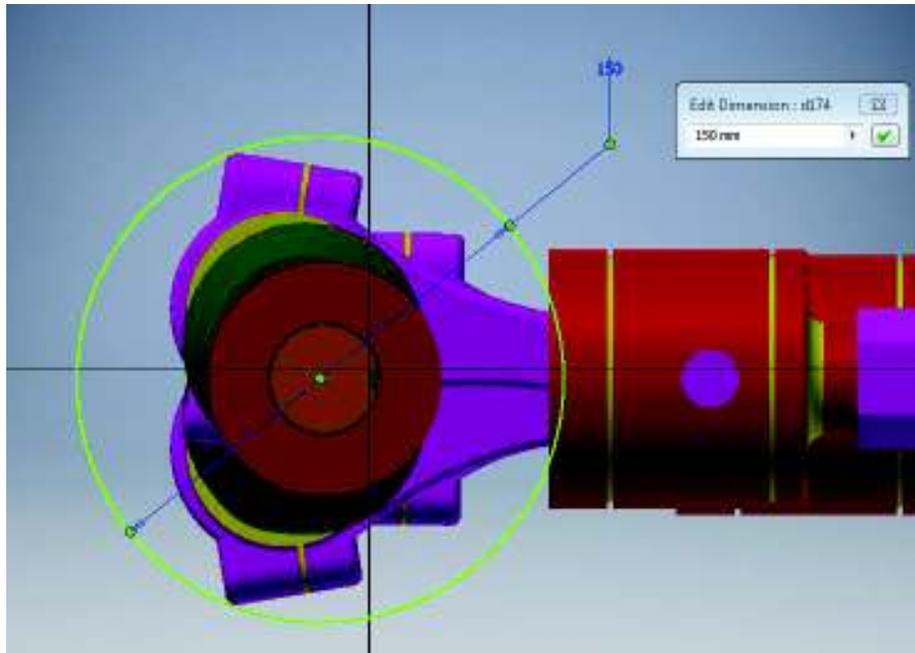


Figura 2.13. Diámetro mínimo para el funcionamiento del mecanismo cigüeñal-biela-pistón
Fuente: (Propia)

Además de éste parámetro, se debe tomar en cuenta la capacidad mínima de lubricante requerido de 2 [L]. Para cumplir con este requerimiento se alarga el compartimiento de alojamiento de lubricante hasta cumplir con el mismo.

La longitud de los cilindros se encuentra en función a la posición máxima y mínima del bulón y las dimensiones del pistón. Tomando en cuenta dichas dimensiones y las longitudes máximas y mínimas, la longitud de los cilindros debe ser mínimo de 100 [mm]. Dada la configuración de la carcasa, existen ciertos puntos con mayor longitud, y para tener una mayor tolerancia para poder maquinar se propone una longitud mínima de 110 [mm] para dicha longitud.

El separador de igual forma está dado por la longitud del plunger o inyector, diámetro del mismo, diámetro de los cilindros y diámetro exterior de la tapa prensaestopas de alta ensamblada con la cámara de presión.

Existen dos tipos de prensaestopas para este diseño, las primeras que estarán en contacto con el plunger y fijara un sello para que no exista filtración de aceite en este compartimento que serán las prensaestopas de aceite. Las segundas formaran un sello de alta con la cámara de presión. Dado que estos elementos están definidos, se realiza dicho diseño en función a los mismos.

Los planos de todos estos elementos se observan en el Anexo 13. Planos

Dadas las condiciones y especificaciones de diseño para el ensamble, se procede a diseñar la sujeción del conjunto, mediante cuatro apoyos empernados, dos correspondientes a la carcasa y dos al separador, siendo unidos estos dos elementos por una junta empernada.

Debido a la geometría de los elementos, se procede a verificar el dimensionamiento mediante una simulación por elementos finitos, y realizar un proceso iterativo hasta alcanzar los resultados deseados. El software usado para el análisis fue ANSYS.

Se fijan los parámetros de pre procesamiento de datos:

Tabla 2.4. Condiciones de borde

APOYOS	<ul style="list-style-type: none"> Las superficies de contacto de las orejas de sujeción y la superficie ensamblada con el separador, tienen restricción fija, es decir, de desplazamiento 0 en todas las direcciones. La superficie inferior de las orejas de sujeción, tienen restricción de apoyo simple, con restricción de movimiento en el eje Y
CARGAS	<ul style="list-style-type: none"> Se aplica la acción de la gravedad en el elemento, aplicado en la dirección -Y. Se consideran carga de tipo de rodamiento para el apoyo del cigüeñal, sobre el cual se transmite la carga de 10750 N en dirección X y de -232.375 N en la dirección Y. Se considera el peso de los pistones sobre los cilindros con un valor de 30 N.
TIPO DE ELEMENTOS	<ul style="list-style-type: none"> Dada la geometría de la Carcasa y rigidez del mismo, se escogen elementos de tipo Tetraédricos.
NÚMERO DE ELEMENTOS	<ul style="list-style-type: none"> Para determinar el número apropiado de elementos para el análisis, se realizó la curva de convergencia a la solución mostrada en la Figura 2.15., la cual arroja un número de 626772 elementos.

Fuente: (Propia)

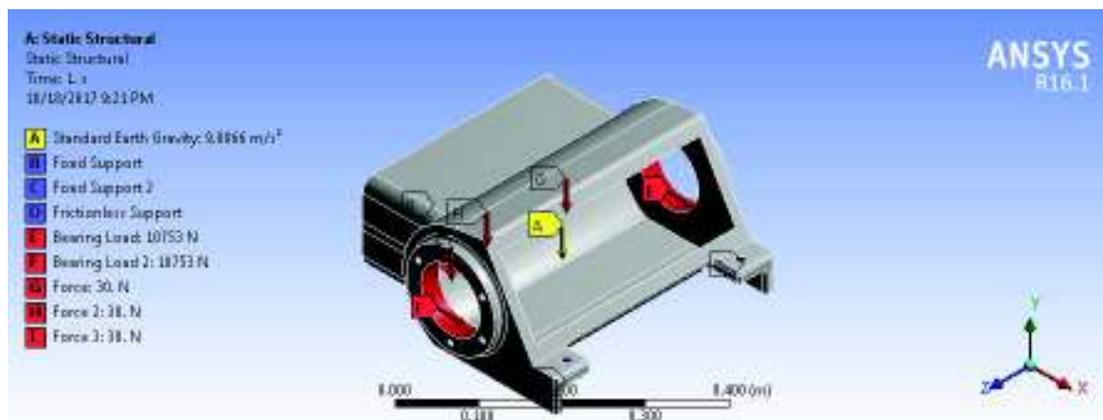


Figura 2.14. Resumen de las condiciones de borde sobre la Carcasa

Fuente: (Propia)

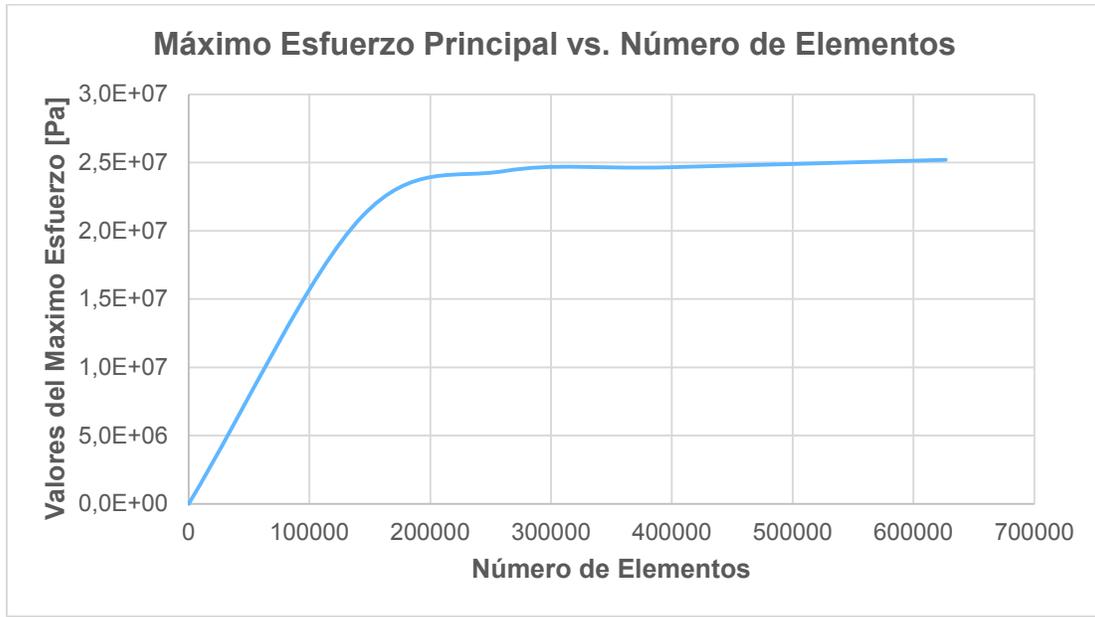


Figura 2.15. Convergencia de la solución
Fuente: (Propia)

Finalizada la simulación por elementos finitos, se llega a la solución mostrada en la Figura 2.16. a continuación.

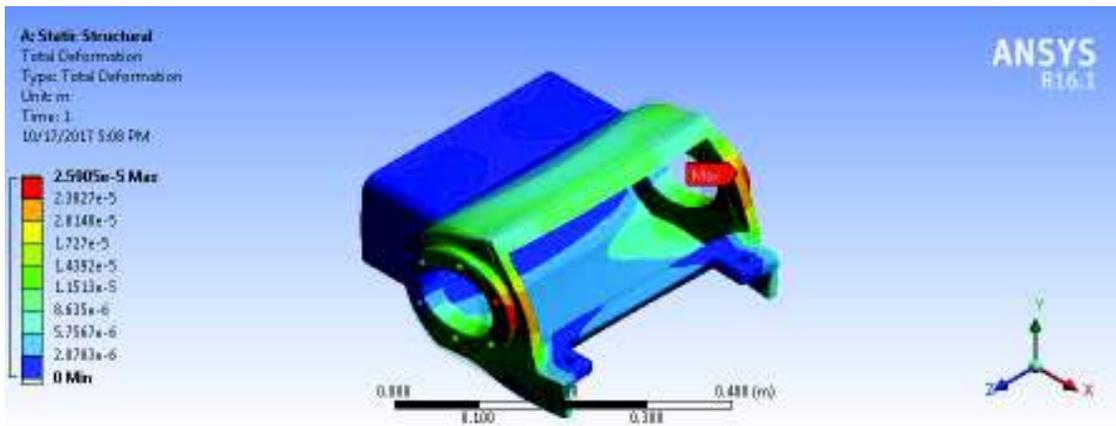


Figura 2.16. Deformación total de la carcasa
Fuente: (Propia)

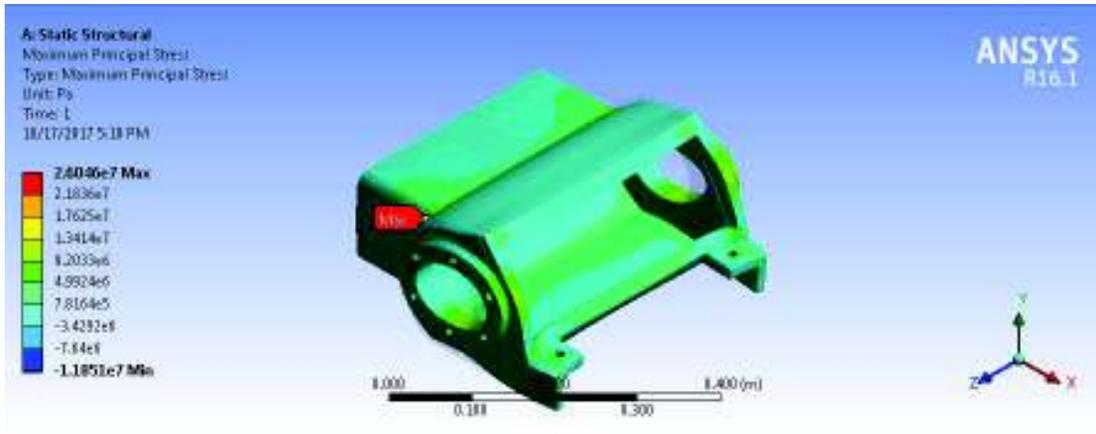


Figura 2.17. Esfuerzo Principal máximo de la carcasa
Fuente: (Propia)

En la Tabla 2.5. se muestran los resultados obtenidos:

Tabla 2.5. Resultados de simulación de la carcasa

DEFORMACION TOTAL MAXIMA	0.025905 [mm]
ESFUERZO PRINCIPAL MAXIMO	26.046 [MPa]
FACTOR DE SEGURIDAD	4.223

Fuente: (Propia)

De igual forma, para el conjunto se realiza una simulación para determinar los puntos críticos y conocer los valores máximos que soporta el conjunto. Los parámetros de pre procesamiento de datos se mantienen los mismos, únicamente se suman las condiciones de las orejas de soporte del Separador, y la condición de contacto entre los dos elementos que se fija como "Bonded".

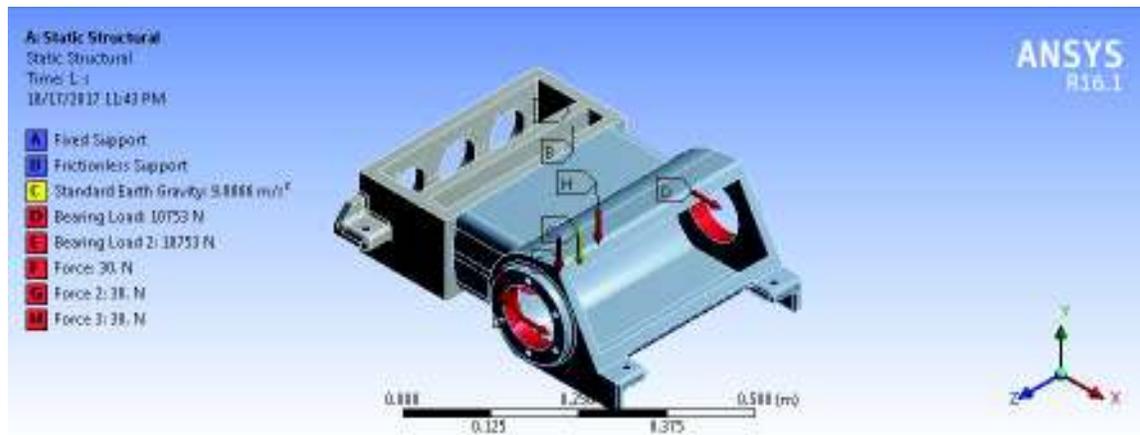


Figura 2.18. Resumen de condiciones de borde del conjunto
Fuente: (Propia)

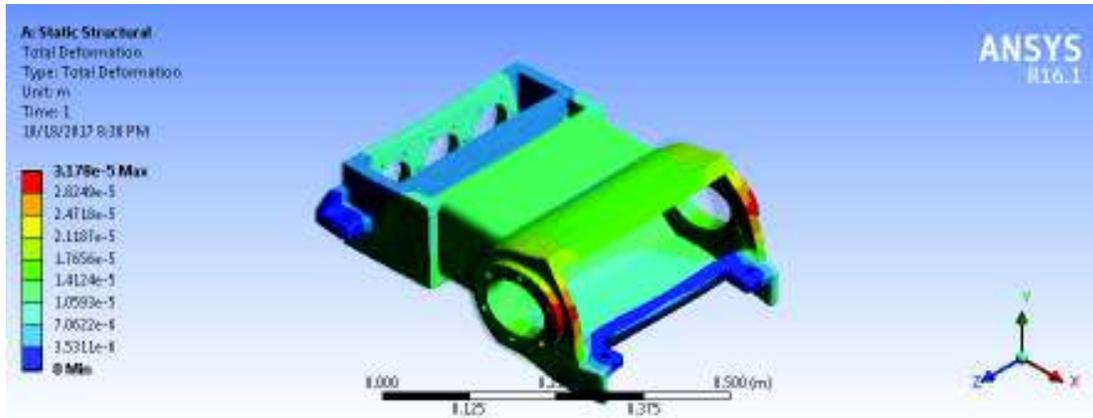


Figura 2.19. Deformación total en conjunto
Fuente: (Propia)

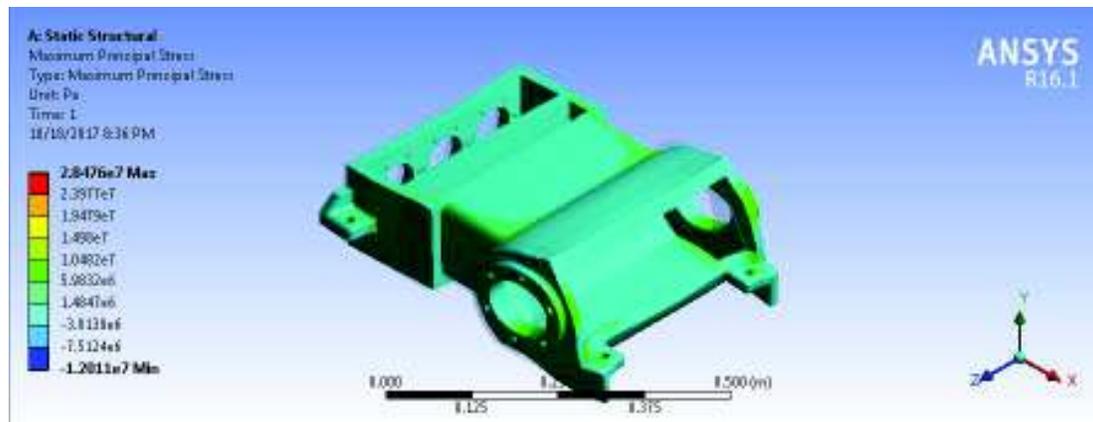


Figura 2.20. Esfuerzo principal máximo del conjunto
Fuente: (Propia)

En la Tabla 2.6. se muestran los resultados obtenidos:

Tabla 2.6. Resultados de simulación del conjunto.

DEFORMACION TOTAL MAXIMA	0.03178 [mm]
ESFUERZO PRINCIPAL MAXIMO	28.476 [MPa]
FACTOR DE SEGURIDAD	3.863

Fuente: (Propia)

Por lo tanto, el factor de seguridad del conjunto es de 3.863, de esta forma se concluye que el diseño está correcto y se procede con la fase de fabricación de los elementos mecánicos.

2.1.6. Juntas empernadas

Después de un proceso iterativo se llegó a determinar el diámetro indicado para las diferentes juntas empernadas.

Para el caso de la junta entre la Carcasa y el Separador, se seleccionan espárragos métricos M10 x 50 [mm]. Y para la junta entre carcasa y tapas laterales, se seleccionan pernos M8 x 35 [mm].

A continuación, se muestra el proceso y el resultado obtenido para cálculo de la misma.

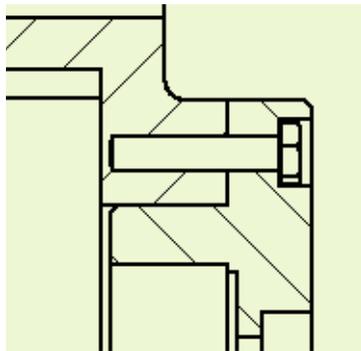


Figura 2.21. Junta empernada Carcasa y Tapas laterales.
Fuente: (Propia)

Se determina en primer lugar las dimensiones y propiedades utilizadas para el cálculo:

$$l = h + \frac{d}{2} = 26.30[mm]$$

$$D_1 = 1.5d + 0.577l = 27.175[mm]$$

$$D = 1.5d = 12[mm]$$

Donde:

l : Longitud del agarre efectivo, [mm].

h : Longitud desde la junta de ensamble hasta la cara inferior de la tuerca, 22.30 [mm].

d : Diámetro del perno, 8 [mm].

D_1 : Diámetro del agarre efectivo superior, [mm]

D : Diámetro del agarre efectivo inferior, [mm]

Con los datos anteriores se procede con el cálculo de la resistencia al corte del perno:

$$F_{total} = \sqrt{10750^2 + 232.375^2} = 10752.2[N]$$

$$F_{perno} = \frac{F_{total}}{6} = 1792.68[N]$$

$$\sigma_{c.perno} = \frac{296.78}{\frac{d^2\pi}{4}} = 35.692 \left[\frac{N}{mm^2} \right]$$

En la Tabla 2.7. se observan las propiedades mecánicas de pernos ISO requeridas para el cálculo del factor de seguridad.

Tabla 2.7. Propiedades mecánicas de pernos, tornillos, y brillos de acero ISO.

Clase	Intervalo de tamaños, inclusive	Resistencia de prueba mínima, MPa	Resistencia de prueba mínima a la tensión, MPa	Resistencia de prueba mínima a la fluencia, MPa	Material	Marca en la cabeza
4.6	M5 – M36	225	400	240	Acero de baja o medio carbono	
4.8	M1.6 – M16	310	420	340	Acero de baja o medio carbono	
5.8	M5 – M24	380	520	420	Acero de baja o medio carbono	
8.8	M16 – M36	600	830	660	Acero de medio carbono, T y R	
9.8	M1.6 – M16	650	900	720	Acero de medio carbono, T y R	
10.9	M5 – M36	830	1040	940	Acero martensítico de bajo carbono, T y R	
12.9	M1.6 – M36	970	1220	1100	Acero aleado, Ty R	

Fuente: (Budynas & Nisbett, 2008)

$$\sigma_{max} = 380 [MPa] \Rightarrow \text{Perno ISO 5.8}$$

$$F_s = \frac{380}{35.692} = 10.66$$

Asegurando la resistencia al corte del perno, se procede con la verificación del factor de carga para la junta n , así como también con el factor que evita la separación de la junta n_0 . En primer lugar, se fijan los parámetros de rigidez de cada material E_A , E_{FG} y E_p correspondientes al módulo de rigidez del aluminio y módulo de rigidez de la fundición gris respectivamente.

$$E_A = 70[Gpa]$$

$$E_{FG} = 98.53[GPa]$$

A continuación, se fijan los parámetros k_1 y k_2 correspondientes a las constantes de rigidez de cada material para lo cual se realiza el análisis sobre cada sección del tronco en cada material.

$$k_1 = \frac{0.5774\pi E_{FG}}{\ln\left(\frac{(1.155t + D - d)(D + d)}{(1.155t + D + d)(D - d)}\right)}$$

$$k_1 = \frac{0.5774\pi(98.53[GPa])}{\ln\left(\frac{(1.155(13.15) + 4)(20)}{(1.155(13.15) + 20)(4)}\right)}$$

$$k_1 = \frac{1400.81}{1.003} = 1396.587[GPa \cdot mm]$$

$$k_2 = \frac{1015.82}{1.003} = 1012.76[GPa \cdot mm]$$

Determinadas las constantes para cada material, se procede a determinar la constante de rigidez del perno K_p . En la Tabla 2.8. se observa el área para roscas métricas para el cálculo de dicha constante.

Tabla 2.8. Diámetros y áreas de roscas métricas.

Diámetro mayor nominal d , mm	Serie de paso grueso			Serie de paso grueso		
	Paso p , mm	Área de esfuerzo de tensión A_t , mm ²	Área del diámetro menor A_d , mm ²	Paso p , mm	Área de esfuerzo de tensión A_t , mm ²	Área del diámetro menor A_d , mm ²
1.6	0.35	1.27	1.07			
2	0.40	2.07	1.79			
2.5	0.45	3.39	2.98			
3	0.5	5.03	4.47			

Diámetro mayor nominal d, mm	Serie de paso grueso			Serie de paso grueso		
	Paso p, mm	Área de esfuerzo de tensión A_t , mm ²	Área del diámetro menor A_d , mm ²	Paso p, mm	Área de esfuerzo de tensión A_t , mm ²	Área del diámetro menor A_d , mm ²
3.5	0.6	6.78	6.00			
4	0.7	8.78	7.75			
5	0.8	14.2	12.7			
6	1	20.1	17.9			
8	1.25	36.6	32.8	1	39.2	36.0
10	1.5	58.0	52.3	1.25	61.2	56.3
12	1.75	84.3	76.3	1.25	92.1	86.0
14	2	115	104	1.5	125	116
16	2	157	144	1.5	167	157
20	2.5	245	225	1.5	272	259

Fuente: (Budynas & Nisbett, 2008)

$$k_b = \frac{A_t E_p}{l} = \frac{36.6[\text{mm}^2] \times 200[\text{GPa}]}{26.30[\text{mm}]} = 278[\text{GPa} \cdot \text{mm}]$$

$$\frac{1}{k_m} = \frac{1}{k_1} + \frac{1}{k_2} = 1.7034 \times 10^{-3} \Rightarrow k_m = 587.05[\text{GPa} \cdot \text{mm}]$$

$$C = \frac{k_b}{k_b + k_m} = \frac{264.41}{264.41 + 587.05} = 0.32163$$

Donde:

k_1 : Constante de rigidez de la fundición gris.

k_2 : Constante de rigidez del aluminio.

k_m : Constante de rigidez de los materiales.

k_b : Constante de rigidez del perno.

C : Constante de fracción de carga que soporta el perno.

A_t : Área de la rosca métrica, [mm]

Determinadas las constantes se procede a determinar la precarga F_i , factor de carga n y de factor de aseguramiento de la junta n_0 .

$$F_i = 0.75F_p = 0.75A_t S_p = 0.75 \times 36.6[\text{mm}^2] \times 350[\text{MPa}] = 10.431[\text{kN}]$$

$$n = \frac{380[\text{MPa}] \times 36.6[\text{mm}^2] - 1043[\text{N}]}{0.32163 \times 1791.667[\text{N}]} = 6.034 \text{ Factor de carga}$$

$$n_o = \frac{F_i}{P(1 - C)} = \frac{10431}{1791.0667(1 - 0.32163)} = 8.6 \text{ Factor de separacion de la junta.}$$

Como se observa la junta queda definida con los datos expuestos garantizando el buen funcionamiento de la misma.

De manera similar se determinan los factores para la junta Carcasa y Separador.

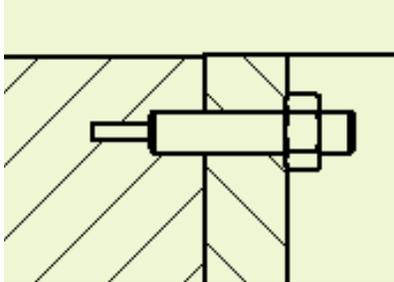


Figura 2.22. Junta entre Carcasa y Separador
Fuente: (Propia)

$$F_s = 8.74 \text{ Factor de seguridad a corte}$$

$$F_i = 13.71 [kN]$$

$$n = 5.86 \text{ Factor de carga}$$

$$n_o = 9.27 \text{ Factor de separacion de la junta.}$$

Se puede conocer un detalle para selección en el Anexo 2. Dimensiones de arandelas metálicas

2.2. Proceso de obtención de los componentes mecánicos

El proceso de fabricación por fundición de los componentes mecánicos inicia con la fabricación de los modelos y cajas de noyos que conforman cada elemento. Para esto es necesario determinar las dimensiones y propiedades de los mismos.

Una vez definido el diseño y dimensiones de cada elemento, se procede a determinar nuevas dimensiones fundamentadas en el diseño final y cálculos con ecuaciones y coeficientes experimentales que permitan obtener una pieza con las propiedades geométricas deseadas, y que a su vez cumplan con las propiedades de un molde de fundición, las mismas que se van a detallar más adelante.

2.2.1. Plano de División y Facilidad de Desmoldeo

La facilidad de desmoldeo es uno de los principales puntos al momento de determinar las dimensiones y posición del modelo para la realización del molde. En primer lugar, se determinará el plano de división del molde y modelo, el mismo que se lo realizará según la geometría de la pieza, exigencias técnicas del proceso y posibilidades prácticas para la realización.

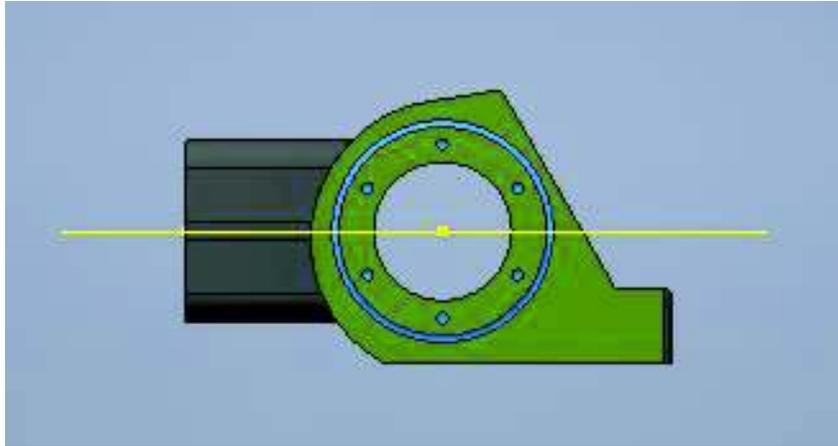


Figura 2.23. Plano de División para la Carcasa
Fuente: (Propia)

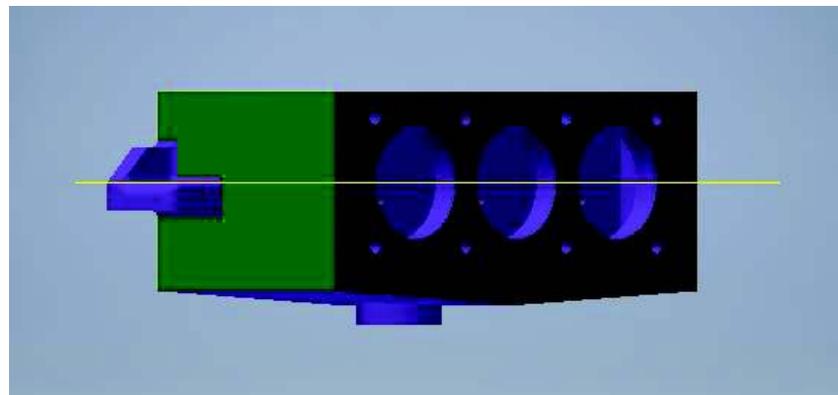


Figura 2.24. Plano de división del separador
Fuente: (Propia)

Las bridas de las prensaestopas serán moldeadas completas, es decir, los moldes no tendrán ningún plano de división, pero sí es una orientación para poder realizar el moldeo y poder extraerlas sin dificultad. Lo cual es definido también como facilidad de desmoldeo.

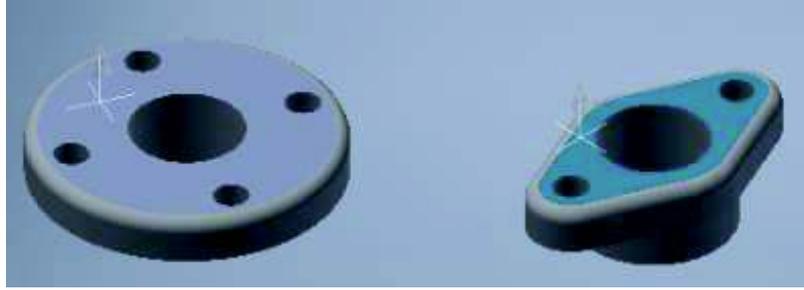


Figura 2.25. Orientación para la extracción de las bridas de las prensaestopas
Fuente: (Propia)

2.2.2. Contrasalidas

Se debe definir la geometría que va a adoptar el modelo, puesto que al ser una pieza con vaciado interno existen hoyos, en consecuencia, se deben tomar en cuenta las portadas de los hoyos para las posibles contrasalidas. Las contrasalidas se pueden definir como aquellas partes que requieren de una dirección de desmoldeo diferente a la dirección perpendicular a la línea de partición del molde, y que en consecuencia, estas partes del modelo quedarían atrapadas en el molde.

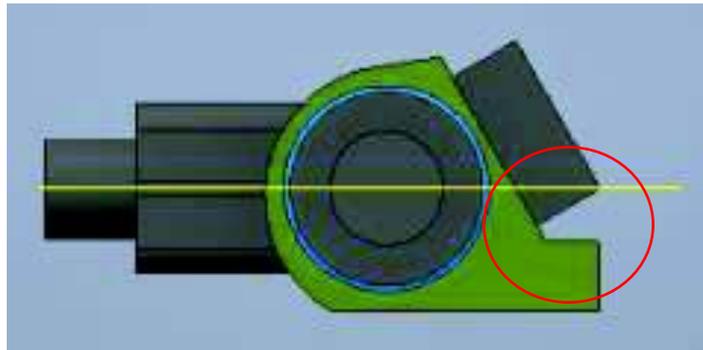


Figura 2.26. Modelo de la Carcasa con las respectivas portadas de noyo
Fuente: (Propia)

Como se puede observar en la Figura 2.26., el área encerrada en la circunferencia de color rojo, corresponde a una contrasalida en la mitad inferior del molde; la misma que al momento de sacar el modelo del molde, va a existir una porción de arena que no va a permitir la extracción del mismo.

Para corregir este problema, se propone la realización de un noyo que realice este vaciado. En la Figura 2.26., se puede observar en la cara lateral la incorporación al modelo las portadas del noyo.

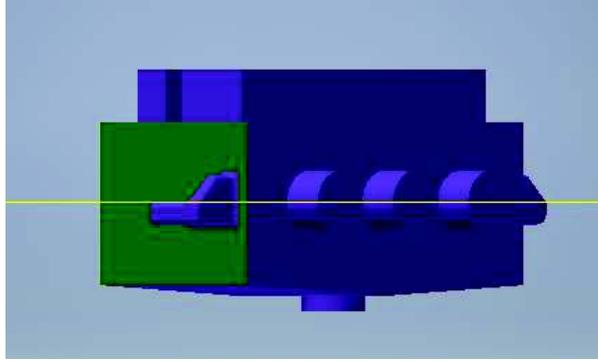


Figura 2.27. Modelo del Separador con las respectivas portadas del noyo
Fuente: (Propia)

En la Figura 2.25., se observa que no se presentan contrasalidas para la extracción de las prensaestopas.

Como se observa en la Figura 2.27. se verifica que no existan contrasalidas durante la extracción del molde.

2.2.3. Sobredimensionamiento por contracción

Los metales, como consecuencia del cambio de estado físico de líquido a sólido en el proceso de fundición, se contraen de manera considerable; esto sucede debido a que las vibraciones interatómicas son amplificadas por el aumento de energía que significa el aumento temperatura para llegar al estado líquido, y posteriormente a un enfriamiento para la obtención de la pieza final.

Es por esto, que es necesario tomar en cuenta esta contracción para obtener la pieza con las características dimensionales deseadas en el diseño. La contracción ocurre en tres pasos:

1. Contracción líquida durante el enfriamiento anterior a la solidificación.
2. Contracción durante el cambio de fase de líquido a sólido, llamada contracción de solidificación.
3. Contracción térmica de la fundición solidificada durante el enfriamiento hasta la temperatura ambiente. (Groover, 1997)

Dentro de la bibliografía encontrada, los valores de contracción para la gran mayoría de metales coinciden entre los diferentes autores. Se ha tomado los valores que se muestran en la Tabla 2.9.

Tabla 2.9. Tolerancia para sobredimensionamiento por contracción de varios materiales

Material	Dimensiones del modelo [mm]	Espesor de la sección [mm]	Tolerancia de contracción [mm/m]
Fundición Gris	Up to 600	---	10.5
	600 to 1200	---	8.5
	Over 1200	---	7.0
Fundición Blanca	---	---	16.0 to 23.0
Hierro dúctil	---	---	8.3 to 10.4
Hierro maleable	---	6	11.8
	---	9	10.5
	---	12	9.2
	---	15	7.9
	---	18	6.6
	---	22	4.0
	---	25	2.6
Acero al carbón	Up to 600	---	21.0
	600 to 1800	---	16.0
	Over 1800	---	13.0
Acero cromado	---	---	20.0
Acero al manganeso	---	---	25.0 to 38.0
Aluminio	---	---	13.0
Aluminio y bronce	---	---	20.0 to 23.0

Fuente: (Rao, 2013, pág. 65)

Como se mencionaba anteriormente, la mayoría de autores coinciden en estos valores experimentales de contracción para metales en fundición, en especial para fundiciones de aluminio que es el objeto de estudio de este trabajo. Se observa que se tiene el valor de 13 mm/m; este valor expresa que existe una contracción de 13 milímetros por cada metro lineal de material. Cabe recalcar que esta contracción es uniforme en toda la pieza.

Para encontrar el factor de sobredimensionamiento por contracción, se tomará como medida referencial una longitud L en milímetros, para determinar el factor para todas las piezas.

$$\Delta x = 13 \left[\frac{mm}{m} \right] * \frac{L}{1000} [m]$$

$$\Delta x = \frac{13 * L}{1000} mm$$

Entonces la medida tomando en cuenta la contracción del metal es:

$$L_f = L + \Delta x$$

$$Lf = L + 13 * \frac{L}{1000}$$

$$Lf = \frac{1013 * L}{1000}$$

Por lo tanto, el factor de sobredimensionamiento uniforme en todas las direcciones es:

$$f = \frac{Lf}{L}$$

$$f = \frac{\frac{1013 * L}{1000}}{L}$$

$$f = 1.013$$

Una vez determinado el factor de contracción uniforme, se procede a sobredimensionar el modelo mediante la herramienta de escalado del software CAD en el cual fue diseñado el elemento.

Con el sobredimensionamiento otorgado a los modelos, se espera según la bibliografía, tener las medidas deseadas del diseño.

2.2.4. Sobredimensionamiento por maquinado

El acabado superficial de las piezas fabricadas por fundición es de una calidad baja, por lo cual, para darles funcionalidad a las piezas fabricadas, las superficies que lo requieran deberán ser maquinadas total o parcialmente. Por consiguiente, se debe contar con esta tolerancia de material adicional para maquinado y se pueda conseguir las propiedades dictadas por el diseño.

Existen tolerancias típicas por maquinado y acabados superficiales que recomienda la bibliografía, según las tablas encontradas, se toman los datos de la Tabla 2.10 a continuación:

Tabla 2.10. Tolerancias típicas para acabados superficiales

Proceso de fundición	Tamaño de la parte	Tolerancia		Rugosidad superficial	
		[pulg]	[mm]	[μpulg]	[μm]
Fundición de arena				250 - 1000 (6 - 25)	
Aluminio	Pequeño	± 0.020	(± 0.5)		
Hierro fundido	Pequeño	± 0.040	(± 1.0)		
	Grande	± 0.060	(± 1.5)		
Aleaciones de cobre	Pequeño	± 0.015	(± 0.4)		
Acero	Pequeño	± 0.050	(± 1.3)		
	Grande	± 0.080	(± 2.0)		

Fuente: (Groover, 1997)

Este valor se lo tomará en cuenta para toda la pieza, para darle un acabado superficial ligeramente mejor al que se deja por fundición. Por esta razón, sumado al valor Δx anterior de sobredimensionamiento por contracción, se obtiene un factor f de 1.0145.

De igual manera, la bibliografía recomienda valores para maquinados de la pieza en las que van a ser ensamblados otros elementos, como en el caso de agujeros, ejes, levas, etc. los mismos que para los efectos del elemento en análisis, se tomaran únicamente estos sobredimensionamientos para agujeros. Se debe tomar en cuenta que, debido al factor de escala determinado anteriormente, estos agujeros fueron incrementados en su diámetro; por lo que se debe corregir estos diámetros en los valores de sobredimensionamiento por contracción y por maquinado.

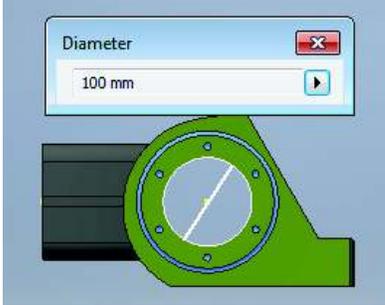
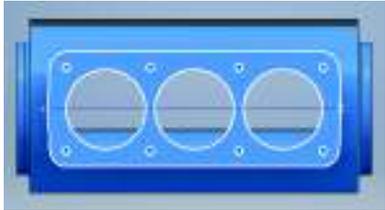
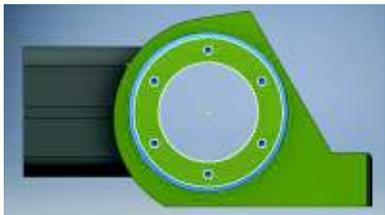
En la Tabla 2.11. a continuación, se encuentran los valores para agujeros, superficies y refrentados recomendados en la bibliografía.

Tabla 2.11. Tolerancias por maquinado

Dimensión [mm]	Tolerancia [mm]		
	Agujero	Superficie	Frente
Hierro fundido			
Sobre 300	3.0	3.0	5.5
301 a 500	5.0	4.0	6.0
501 a 900	6.0	5.0	6.0
Acero fundido			
Sobre 150	3.0	3.0	6.0
151 a 500	6.0	5.5	7.0
501 a 900	7.0	6.0	9.0
No ferroso			
Sobre 200	2.0	1.5	2.0
201 a 300	2.5	1.5	3.0
301 a 900	3.0	2.5	3.0

Fuente: (Rao, 2013, pág. 68)

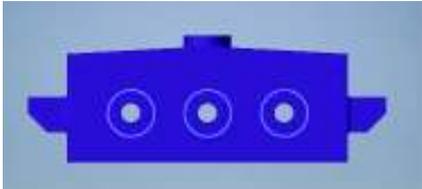
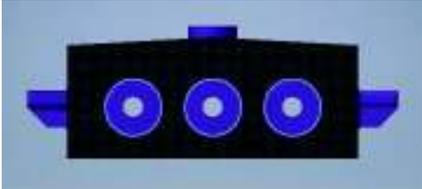
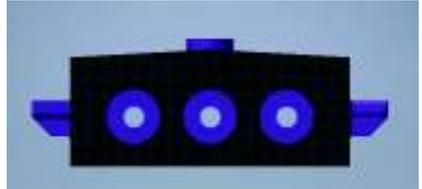
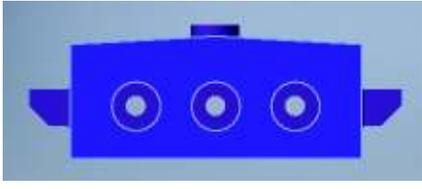
Tabla 2.12. Dimensiones de referencia para sobredimensionamiento por maquinado para la Carcasa

Tipo	Dimensión [mm]	Sobredimensionamiento [mm]	Medida Final [mm]
<p>Diámetro</p> 	100	2*2	96
<p>Diámetro</p> 	90	2*2	86
<p>Plano</p> 	120	2	122
<p>Plano</p> 	15	2	17

Fuente: (Propia)

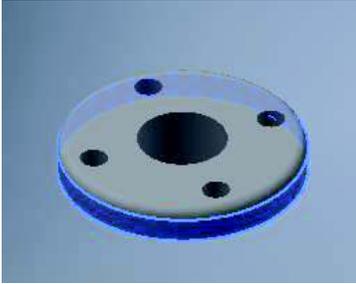
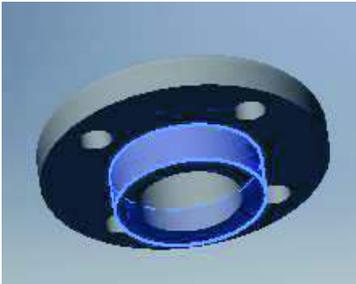
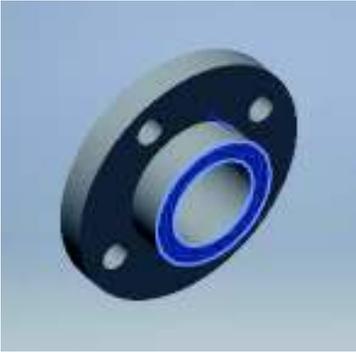
Tabla 2.13. Dimensiones de referencia para sobredimensionamiento por maquinado para la Carcasa.

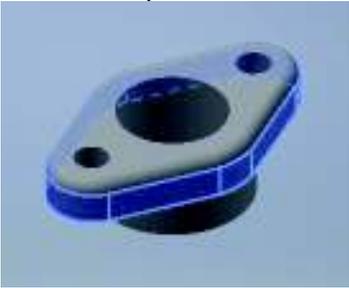
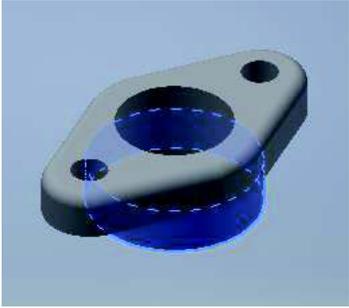
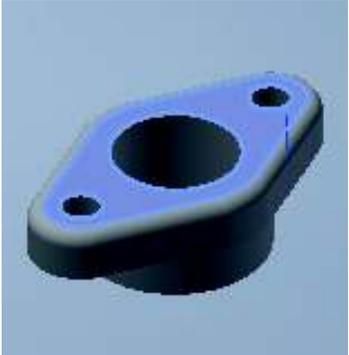
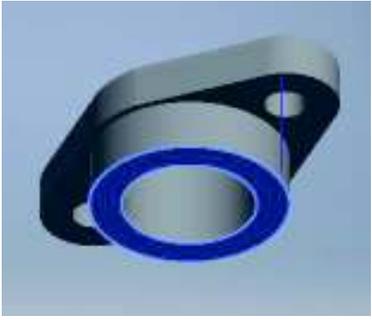
Tipo	Dimensión [mm]	Sobredimensionamiento [mm]	Medida Final [mm]
------	----------------	----------------------------	-------------------

Tipo	Dimensión [mm]	Sobredimensionamiento [mm]	Medida Final [mm]
<p data-bbox="412 302 529 331">Diámetro</p> 	70	2*2	66
<p data-bbox="412 548 529 577">Diámetro</p> 	80	2*2	76
<p data-bbox="412 793 529 823">Diámetro</p> 	25	2*2	21
<p data-bbox="435 1039 506 1068">Plano</p> 	200	2	122

Fuente: (Propia)

Tabla 2.14. Dimensiones de referencia para sobredimensionamiento por maquinado para las Bridas de las Prensaestopas

Tipo	Dimensión [mm]	Sobredimensionamiento [mm]	Medida Final [mm]
<p data-bbox="391 386 509 415">Diámetro</p> 	70	2*1.5	73
<p data-bbox="391 722 509 751">Diámetro</p> 	36.5	2*1.5	39.5
<p data-bbox="412 1068 488 1098">Plano</p> 	10	2	12
<p data-bbox="412 1457 488 1486">Plano</p> 	10	2	12

Tipo	Dimensión [mm]	Sobredimensionamiento [mm]	Medida Final [mm]
<p>Superficie</p> 	10	2*2	12
<p>Diámetro</p> 	37	2*2	33
<p>Plano</p> 	10	2	12
<p>Plano</p> 	10	2	12

Fuente: (Propia)

2.2.5. Ángulos de salida

Las superficies verticales del modelo en contacto con el molde de arena, al momento de ser separadas, puede arrastrar consigo una porción del molde dañando el mismo. Es por esto que se tienen ángulos de salida que facilitan la extracción del modelo y reduciendo el riesgo de dañar el molde.

Existen valores recomendados por la bibliografía en función a la longitud de la pared vertical y el material del cual está hecho el modelo. En la Tabla 2.15. se puede visualizar estos valores.

Tabla 2.15. Ángulos de inclinación recomendados para modelos

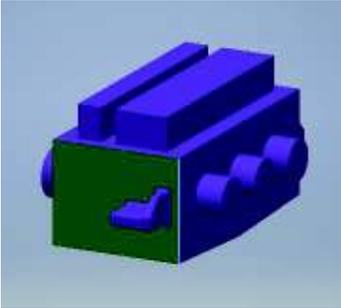
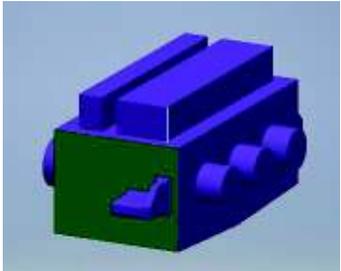
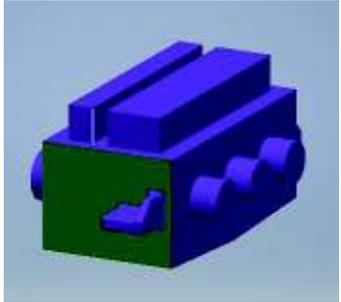
Pattern material	Height of the given Surface [mm]	Draft angle of surfaces, degrees	
		External surface	Internal surface
Wood	20	3.00	3.00
	21 to 50	1.50	2.50
	51 to 100	1.00	1.50
	101 to 200	0.75	1.00
	201 to 300	0.50	1.00
	301 to 800	0.50	0.75
	801 to 2000	0.35	0.50
	Over 2000	---	0.25
Metal and plastic	20	1.50	3.00
	21 to 50	1.00	2.00
	51 to 100	0.75	1.00
	101 to 200	0.50	0.75
	201 to 300	0.50	0.75
	301 to 800	0.35	0.50

Fuente: (Rao, 2013, pág. 70)

Para modelos hechos de plástico como es el caso del presente trabajo, se tienen valores sumamente pequeños para las medidas dando como un ángulo máximo de 1° sexagesimal. Sin embargo, para los lugares que se proponen estos ángulos de inclinación, la Carcasa tienen alrededor de 2°.

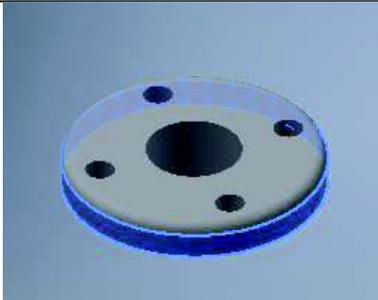
Según la Tabla 2.15. se tienen los siguientes ángulos de salida para el modelo del separador, los mismos que se muestran en la Tabla 2.16.

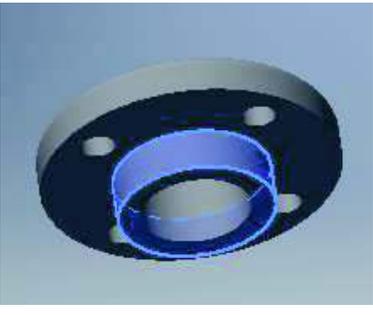
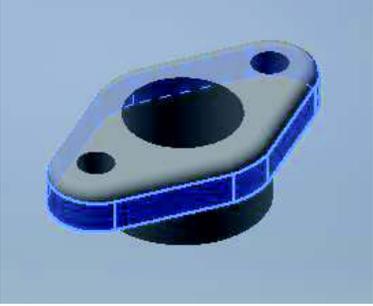
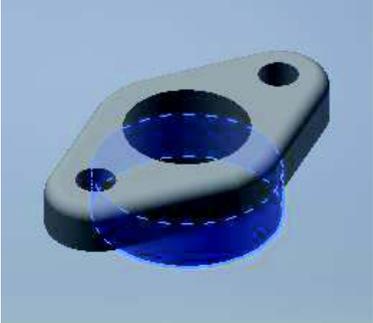
Tabla 2.16. Valores de ángulo de inclinación para el separador

Localización	Altura [mm]	Ángulo Recomendado [°]
Altura Externa 	152/2	0.75
Altura Externa 	50	1
Altura Interna 	50	2

Fuente: (Propia)

Tabla 2.17. Valores de ángulo de inclinación para el separador

Tipo	Altura [mm]	Ángulo Recomendado [°]
	12	1.5

Tipo	Altura [mm]	Ángulo Recomendado [°]
	12	1.5
<p data-bbox="370 579 503 613">Superficie</p> 	12	1.5
<p data-bbox="376 940 496 974">Diámetro</p> 	12	1.5

Fuente: (Propia)

Se puede apreciar un detalle en el Anexo 13. Planos

2.2.6. Determinación de las Dimensiones de la Caja de Moldeo

Para determinar estas dimensiones se deben tomar en cuenta ciertos factores que intervienen directamente, la medida de la pieza a fundir, su ubicación, medidas de las mazarotas, dimensiones del sistema de alimentación.

Es importante recordar que el espesor de la arena entre la pieza y las paredes de la caja sea suficiente para asegurar una resistencia a las presiones estáticas y dinámicas del metal fundido. (Goyos)

Para determinar las dimensiones de la caja se parte de que el elemento a fabricar es de tipo de Pieza Mediana, con lo cual se obtienen los valores para la pieza de la Tabla 2.18.

Tabla 2.18. Dimensiones permisibles entre piezas y elementos del molde

Distancia pieza – pieza y pieza - molde					
Dimensiones [mm]					
Tipo de pieza	a	b	B	s	D
Pequeñas	10 a 30	35 a 60	50 a 75	0.3 de la altura de la plantilla	0.5 de la altura de la plantilla
Medianas	50 a 75	74 a 100	100 a 125		
Grandes	125 a 175	150 a 200	175 a 200		

Fuente: (Goyos, pág. 61)

La altura del cuerpo es de aproximadamente 200 [mm], por lo que la caja tendrá una altura de 375 [mm]. Por facilidad de construcción el valor de la altura es de 400 [mm].

Para la medida de longitud de la caja se suma los valores encontrados en la Tabla 2.18., con las dimensiones del elemento, altura aproximadamente 200 [mm], ancho de aproximadamente 360 [mm] y profundidad de 400 [mm]; se tienen las siguientes dimensiones:

$$L = 750 [mm]$$

$$H = 400 [mm]$$

$$W = 600 [mm]$$

Para la determinación de las dimensiones de la caja de moldeo, se usarán los valores de referencia dados en la Tabla 2.18.

Dadas las dimensiones del elemento, altura aproximadamente 200 [mm], ancho de aproximadamente 460 [mm] y profundidad de 200 [mm]; se tienen las siguientes dimensiones:

$$L = 600 [mm]$$

$$H = 400 [mm]$$

$$W = 400 [mm]$$

Para el caso de las prensaestopas, se tomaran cajas individuales con las siguientes dimensiones:

$$L = 200 [mm]$$

$$H = 300 [mm]$$

$$W = 200 [mm]$$

2.2.7. Cálculo y diseño del sistema de alimentación

El sistema de alimentación consiste en todos los conductos o canales conectados a la pieza a ser construida por los cuales va a fluir el metal líquido y alimentar a la pieza. Este sistema comprende una serie de elementos, que con el diseño adecuado, permitirán una fundición exitosa. El sistema de alimentación debe cumplir con las siguientes funciones:

- Llenar el molde en el menor tiempo posible, sin elevar demasiado la temperatura del metal fundido. Esto permite que la etapa de solidificación permanezca casi estático el metal en el molde.
- Permitir la entrada del metal líquido con la mínima turbulencia. La turbulencia favorece a la generación de defectos de fundición como porosidad en la pieza.
- Establecer una solidificación direccional. Permite tener cierto control de que no existan defectos como juntas frías o falta de llenado del molde.
- Llenar por completo el molde.
- Actuar como sistema de ventilación de gases.

Es decir, el cálculo y diseño deben ser enfocados a cumplir con las funciones antes citadas. (Posinasetti, 2013) (Peinado, 2005)

2.2.7.1. Cálculo y diseño de mazarotas

Las mazarotas son reservorios de metal líquido conectados a la pieza; estos proveen de material durante el proceso de enfriamiento, permitiendo así que porosidades y rechupes se den en la mazarota y no en la pieza. Por lo general estas están ubicadas en las partes más densas de la pieza, por esta razón el tiempo de solidificación de la mazarota debe ser mucho mayor que el de la pieza.

Las mazarotas deben ser diseñadas con el fin de cumplir las siguientes especificaciones:

- Debe solidificarse después de la pieza.
- Las dimensiones deben compensar la contracción de las molduras. Esto implica la altura y distancia a la pieza, de tal forma que se garantice que el conducto no se solidifique antes y no permita el paso de material al mismo. (Titov & Stepánov, 1984)

Para el cálculo de la mazarota se utilizará el método Caine, este se basa en la disipación de calor la misma que es función de la relación que existe entre el área superficial y el volumen.

Basado en la regla de Chvrinov, Caine desarrolla una relación empírica para la relación de enfriamiento dada a continuación.

$$X = \frac{a}{Y - b} + c$$

Donde:

X, es la relación de enfriamiento.

Y, es la relación de volumen mazarota pieza.

Y *a*, *b* y *c* son constantes empíricas para los diferentes materiales.

Las constantes para la ecuación de Caine se muestran en la Tabla 2.19. a continuación.

Tabla 2.19. Constantes para la ecuación de Caine

	a	b	C
Acero	0.10	0.03	1.00
Aluminio	0.10	0.06	1.08
Fundiciones	0.04	0.017	1.00
Te puedo ayudar con las Fundiciones	0.33	0.030	1.00
Aluminio y bronce	0.24	0.017	1.00
Bronce al silicio	0.24	0.017	1.00

Fuente: (Rao, 2013, pág. 150)

Para empezar, se determinan los valores de masa, área y volumen de la pieza a fundir, las mismas que se detallan a continuación con la ayuda del software CAD.

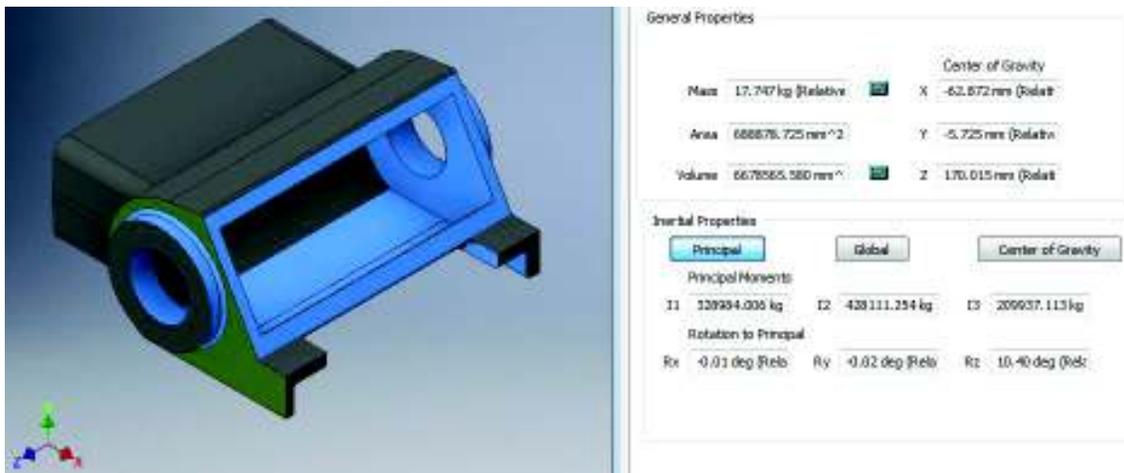


Figura 2.28. Modelo tridimensional de la pieza al finalizar el proceso de fundición

Fuente: (Propia)

Masa de la fundición:

$$m_{fundicion} = 17.747 [kg]$$

Área de la fundición:

$$A_{fundicion} = 689836.913 [mm^2]$$

Volumen de la fundición:

$$V_{fundicion} = 6678567.127 [mm^3]$$

Para la forma de la mazarota se recomienda la forma geométrica con la menor relación área volumen, dado que la esfera es la forma geométrica que cumple con este requisito, pero a su vez, la parte más caliente sería el centro, y puesto que se dificulta el uso para mazarotas no se aconseja. La forma más utilizada y que se adapta de mejor manera es un cilindro, por lo que se acoge la siguiente:

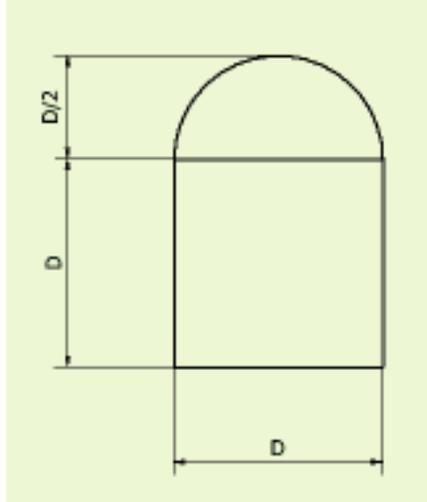


Figura 2.29. Forma de la mazarota
Fuente: (Propia)

El volumen de la mazarota está dado por:

$$V_{mazarota} = \frac{\pi D^3}{4} + \frac{1}{2} * \left(\frac{4\pi D^3}{48} \right)$$

$$V_{mazarota} = \frac{11\pi D^3}{24}$$

El área superficial de la mazarota está dada por:

$$A_{mazarota} = \frac{3\pi D^2}{2} + \frac{\pi D^2}{4} + \pi D^2$$

$$A_{mazarota} = \frac{11\pi D^2}{4}$$

La relación de enfriamiento dado por:

$$X = \frac{A_{fundicion}/V_{fundicion}}{A_{mazarota}/V_{mazarota}}$$

$$X = \frac{689836.913 [mm^2]/6678567.127 [mm^3]}{2.75\pi D^2/0.46\pi D^3}$$

$$X = 0.0172777D [mm]$$

La relación volumen mazarota pieza:

$$Y = \frac{\text{Volumen de la mazarota}}{\text{Volumen de la fundición}}$$

$$Y = \frac{0.46\pi D^3}{6678567.127 [mm^3]}$$

$$Y = 2.164 * 10^{-7} D^3$$

En función a la ecuación de Caine y reemplazando los valores:

$$X = \frac{a}{Y - b} + c$$

$$0.0172777D = \frac{0.1}{2.164 * 10^{-7} D^3 - 0.06} + 1.08$$

$$D = 99.81 [mm] \approx 100[mm]$$

Conocido el diámetro se procede a determinar las dimensiones de los conductos que conectan la pieza con la mazarota para evitar un enfriamiento y posterior obstrucción al correcto funcionamiento de la mazarota.

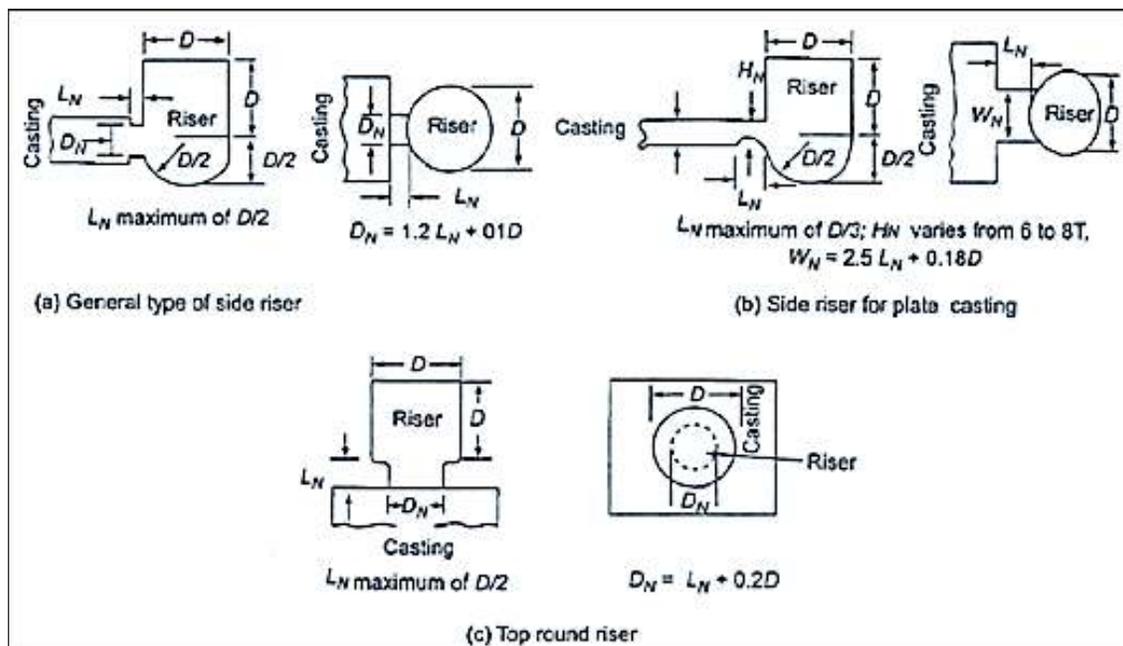


Figura 2.30. Dimensiones para los conductos de la mazarota hacia la pieza
 Fuente: (Rao, 2013, pág. 160)

Con los criterios recomendados por la bibliografía, se calcula una distancia máxima como en el caso (a), dado a la dimensión de la pieza que se va a construir.

$$L_N = \frac{D}{2} = 50 [mm]$$

$$D_N = 1.2 L_N + 0.1 Dm$$

$$D_N = 70 [mm]$$

Determinadas todas las dimensiones de la mazarota, se obtiene el modelo que se muestra en la Figura 2.31.

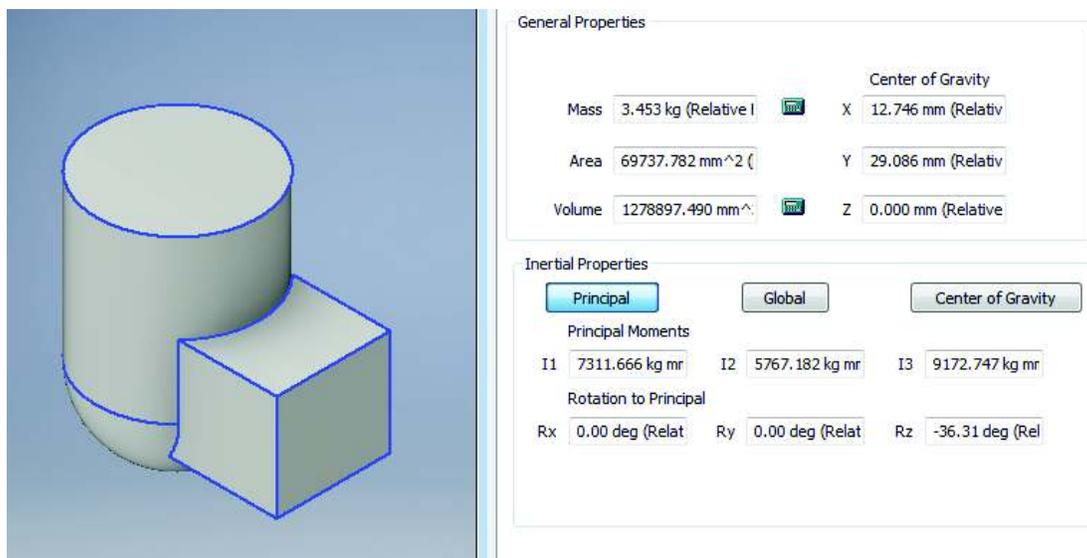


Figura 2.31. Mazarota para la carcasa
Fuente: (Propia)

Para el cálculo de la mazarota se utilizará el mismo método anterior, es decir, el método de Caine, y la forma de igual manera definida como en el caso anterior.

Para empezar, se determinan los valores de masa, área y volumen de la pieza a fundir, las mismas que se detallan a continuación con la ayuda del software CAD.

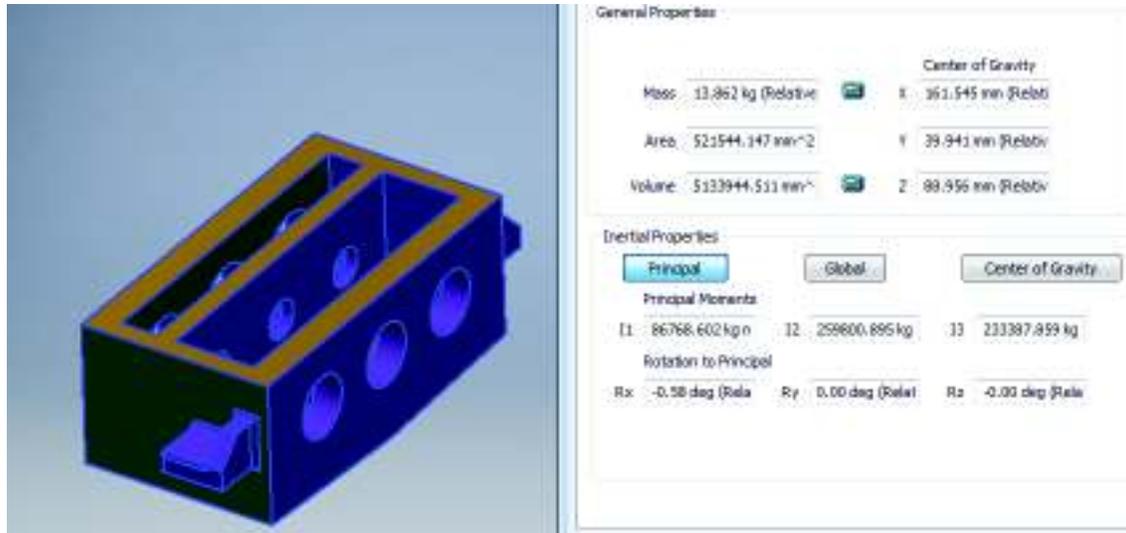


Figura 2.32. Modelo tridimensional de la pieza al finalizar el proceso de fundición
Fuente: (Propia)

Masa de la fundición: $m_{fundicion} = 13.862 [kg]$

Área de la fundición: $A_{fundicion} = 521544.147 [mm^2]$

Volumen de la fundición: $V_{fundicion} = 5133944.511 [mm^3]$

Realizando el mismo proceso anterior, se determina un valor teórico para las dimensiones de la mazarota, se escoge un valor para la construcción de 70 [mm] teniendo así una mayor tolerancia y con un mínimo de material adicional al propuesto por la teoría. Por lo tanto:

$$Dm = 70 [mm]$$

Se procede con el cálculo de las demás dimensiones de la mazarota, bajo el mismo procedimiento para el elemento anterior.

$$L_N = \frac{Dm}{2} = 35 [mm]$$

$$D_N = 1.2 L_N + 0.1 Dm$$

$$D_N = 49 [mm] \approx 50 [mm]$$

Determinadas todas las dimensiones de la mazarota, se obtiene el modelo que se muestra en la Figura 2.33.

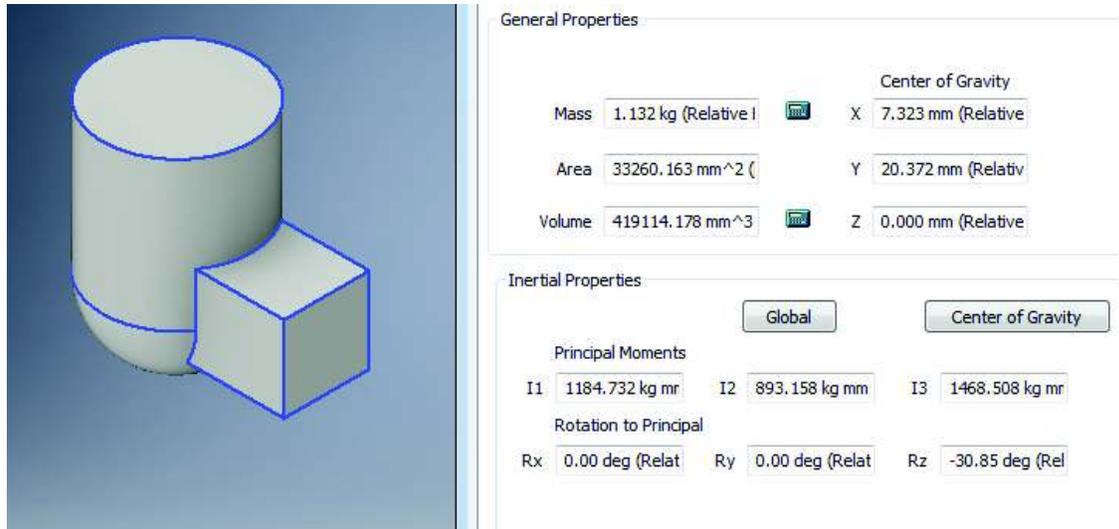


Figura 2.33. Mazarota para el separador
Fuente: (Propia)

Para el caso de las prensaestopas, la alimentación será la propia mazarota, garantizando así el correcto llenado de las piezas y mitigando posibles defectos que puedan aparecer en dichas piezas.

2.2.7.2. Cálculo de la altura de presión del metal durante el llenado

La altura estática de presión depende de la dimensión de la moldura y se determina de la relación:

$$H_s = H_c - \frac{P^2}{2 * C}$$

Donde:

H_s : Altura estática [cm].

H_c : Altura del canal vertical desde el lugar de suministro de la masa fundida al molde [cm]

C : Altura de la moldura [cm].

P : Altura de la moldura del lugar de suministro de la masa fundida al molde [cm].

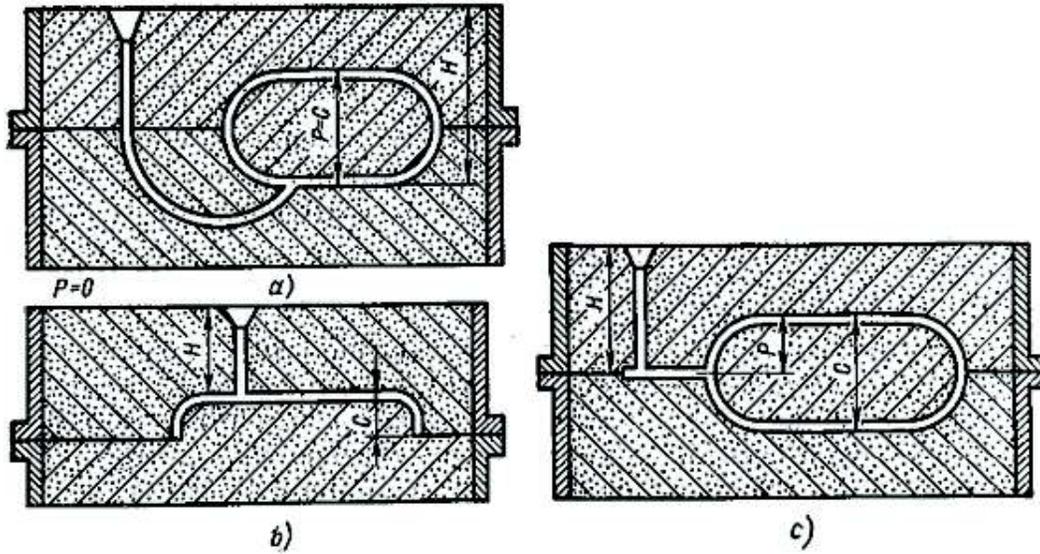


Figura 2.34. Dimensionamiento de la altura estática
Fuente: (Titov & Stepánov, 1984)

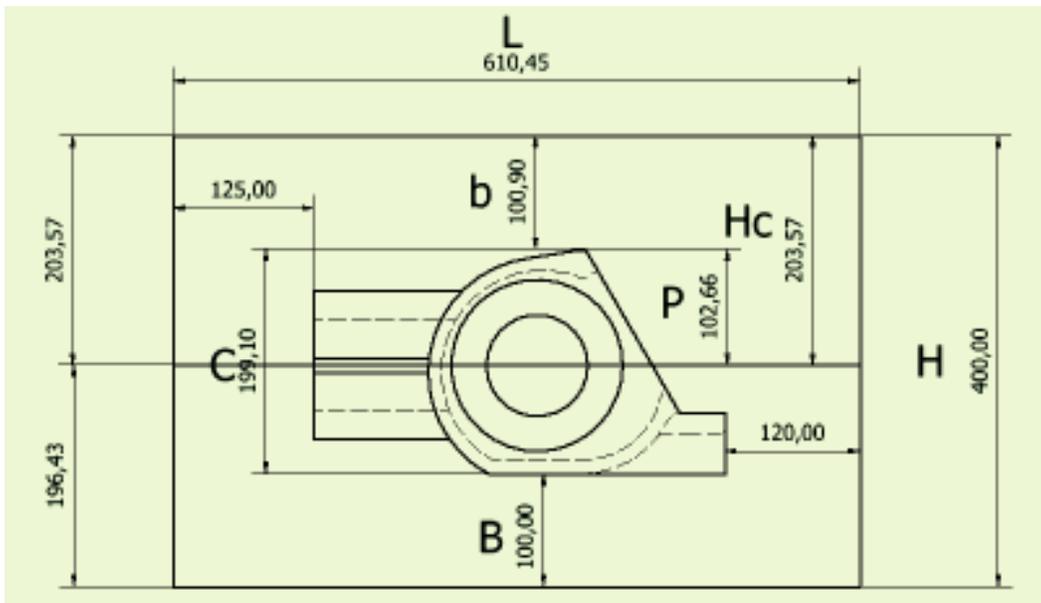


Figura 2.35. Ubicación de dimensiones hacia la pieza, según Tabla 2.18.
Fuente: (Propia)

Por lo tanto, la altura estática para la carcasa se tiene que es:

$$H_s = 20.36 - \frac{10.26^2}{2 * 19.9} = 17.72 [cm] = 177.2[mm]$$

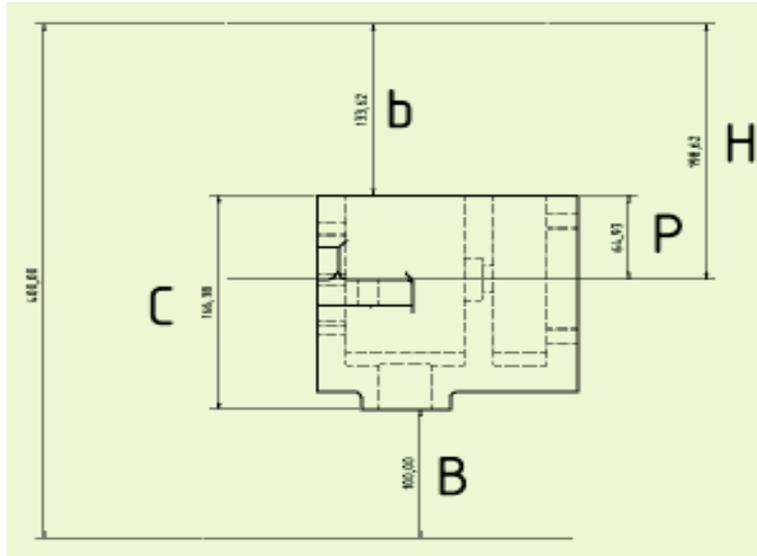


Figura 2.36. Ubicación de dimensiones hacia la pieza, según Tabla 2.18.
Fuente: (Propia)

Por lo tanto, la altura estática para el separador se tiene que es:

$$H_s = 198.62 - \frac{64.93}{2 * 166.38} = 198.42[mm]$$

2.2.7.3. Determinación de la Velocidad y Tiempo de Llenado

Como se mencionó anteriormente, el tiempo de llenado del molde es uno de los factores que influye en la calidad de la pieza final. Un tiempo de llenado muy largo significaría que la colada debe alcanzar una temperatura de sobrecalentamiento excesivo, y un tiempo de llenado muy corto podría llevar a tener un flujo altamente turbulento.

Este tiempo de llenado depende del material, complejidad de la fundición, grosor de la sección transversal a ser alimentada y tamaño de la fundición. Por lo que la determinación de un tiempo de llenado óptimo para cada fundición es crucial para la obtención de la pieza sin defectos. Las ecuaciones que permiten obtener este tiempo óptimo de llenado son de carácter experimental, dados para cada material y grosor como se mencionó anteriormente; la ecuación que permite encontrar la tasa de vertido de la colada para aleaciones ligeras no ferrosas está dada por:

$$R = b * \sqrt{W}$$

Donde:

R : Tasa de vertido [kg/s].

b : Constante de la ecuación dependiente del grosor de las paredes de la pieza [mm]

W : Peso total de la pieza en bruto, tomando en cuenta mazarotas, alimentación, etc. [kg].

Tabla 2.20. Valores de la constante b para diferentes grosores

Esesor de la pared [mm]	Bajo 6 [mm]	6 – 12 [mm]	Sobre 12 [mm]
b - constante	0.99	0.87	0.47

Fuente: (Jain, 2003)

El valor que toma la constante b según la pieza a fabricar es de 0.47. El valor del peso total, se tomará en cuenta el valor de pieza, más el valor de la mazarota, y más un valor aproximado de 5 [kg] correspondiente al alimentador y conductos de alimentación. Este valor será verificado para realizar un proceso iterativo para determinar el valor exacto.

$$W = 17.747 + 3.453 + 5 = 26.2 \text{ [kg]}$$

Entonces:

$$R = b * \sqrt{W} = 0.47 * \sqrt{26.2}$$

$$R = 2.405 \left[\frac{kg}{s} \right]$$

Existe un valor de la tasa de vertido ajustado (Ra), en el cual se toma en cuenta valores experimentales respecto al material y a la forma del canal vertical.

$$Ra = \frac{R}{k * f}$$

El valor de k para materiales que no sean fundición gris o maleable, puede ser 1.

El factor f toma valores de entre 0.85 -0.90 para canales cónicos y entre 0.70-0.75 para canales rectos.

Para el caso del presente trabajo, al tratarse de una aleación de aluminio se toma el valor de $k = 1$ y para $f = 0.9$. Entonces:

$$Ra = \frac{2.405}{0.9} = 2.67 \left[\frac{kg}{s} \right]$$

El tiempo de llenado del molde de la carcasa entonces es:

$$t = \frac{W}{Ra}$$

$$t = \frac{26.2}{2.67} = 9.8[s]$$

Se procede con el cálculo para el separador, en el cual se mantienen los mismos factores experimentales, teniendo así el siguiente tiempo de llenado.

El tiempo de llenado del molde del separador es:

$$t = \frac{17.994}{2.215} = 8.12 [s]$$

2.2.7.4. Dimensionamiento del bebedero

Una vez determinado el tiempo óptimo de vertido, se requiere dimensionar el ducto principal por el cual va a fluir el metal líquido hacia el molde.

En primer lugar, se define la forma del canal principal de alimentación y el número de alimentadores. Según varios autores recomiendan un sistema de alimentación como el de la Figura 2.37.

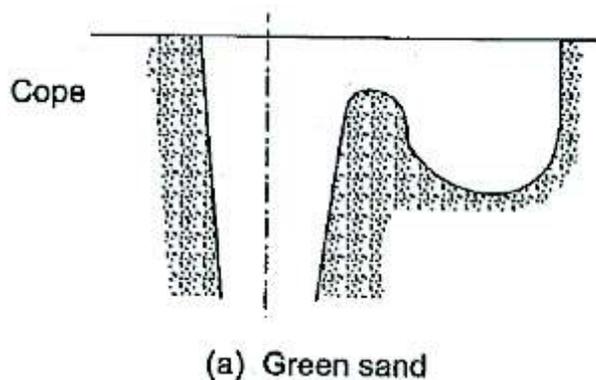


Figura 2.37. Esquema del sistema de alimentación recomendado
Fuente: (Rao, 2013, pág. 127)

El espacio previo al canal de alimentación se lo conoce como cuenca de vertido, en el cual, la colada será vertida en primer lugar para que después fluya suavemente al ducto principal de alimentación.

Se ha encontrado experimentalmente, que el tener canales de alimentación completamente rectos, favorecen a la aspiración de aire en el mismo, causando así un aumento en la probabilidad de encontrar defectos en la pieza. Como se observa en la

Figura 2.37., en la base de la alimentación, se tiene un área menor, la misma que viene a ser un área de control llamada área de estrangulamiento.

El área de estrangulamiento está dada por la ecuación:

$$A_c = \frac{W}{d t C_c \sqrt{2 g H_s}}$$

Donde:

A_c : Área de estrangulamiento [mm^2].

W : Peso total de la fundición en [kg].

d : Densidad del metal fundido en [kg/mm^3]

t : Tiempo óptimo de vertido en [s].

C_c : Coeficiente de eficiencia de la alimentación.

g : Aceleración de la gravedad en [mm/s^2]

H_s : Altura estática en [mm].

En la Tabla 2.21. a continuación, se tienen los valores recomendados para el coeficiente de eficiencia de la alimentación.

Tabla 2.21. Coeficientes de eficiencia para sistemas de alimentación

Tipo del sistema	Estrangulador cónico	Estrangulador recto
Un solo canal con una sola entrada de alimentación	0.90	0.73
Dos canales con múltiples entradas de alimentación, sin curvas	0.90	0.73
Dos canales con múltiples entradas de alimentación, con curvas a 90°	0.85	0.70

Fuente: (Rao, 2013, pág. 142)

Reemplazando los valores dados en la ecuación anterior se tiene:

$$A_c = \frac{26.2}{2.657 * 10^{-6} * 9.16 * 0.85 \sqrt{2 * 9800 * 177.2}}$$

$$A_c = 679.572 [\text{mm}^2]$$

Mediante las ecuaciones de continuidad y de Bernoulli, se encontró una relación que permite determinar el área en la parte superior de la alimentación, en función al área de estrangulamiento y las alturas, permitiendo así disminuir efectivamente la aspiración de aire en los canales de alimentación.

$$A_t = A_c \sqrt{\frac{h_t}{h}} \quad (2.10)$$

Donde:

A_t : Área en la parte más alta de la alimentación, sin tomar en cuenta la cuenca de vertido [mm²].

A_c : Área de estrangulamiento [mm²].

h_t : Altura total del ducto de alimentación [mm].

h : Altura de la cuenca de vertido [mm].

Según la ecuación (2.10), se tendría una forma parabólica, pero en la práctica dar una forma parabólica a la alimentación no es muy factible. Por esta razón se la realiza en forma cónica, la misma que se acerca mucho a la forma dada por la teoría y con las cuales se han obtenido excelentes resultados.

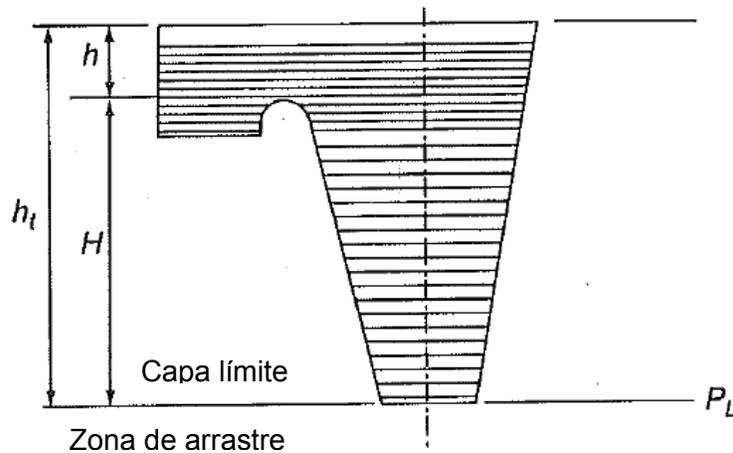


Figura 2.38. Esquema para la alimentación recomendado.
Fuente: (Rao, 2013, pág. 129)

La altura de la caja, fue tomada para el cálculo de la altura efectiva de presión, la misma que es usada para los cálculos subsiguientes, no puede ser amenorada; por lo

que, apoyados en la bibliografía, se puede considerar un cuerpo por encima de la caja para sostener la cuenca de vertido, tal como se muestra en Figura 2.39.

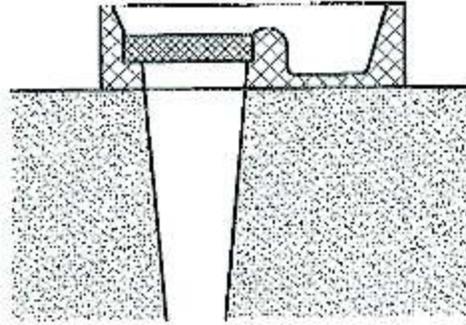


Figura 2.39. Esquema de montaje de la cuenca de vertido.
Fuente: (Rao, 2013, pág. 128)

La altura que se considera para este efecto será de 100 [mm] para los dos casos, de la carcasa y del separador.

Reemplazando los valores en la ecuación anterior se tiene la siguiente área superior para la carcasa:

$$At = 679.572 \sqrt{\frac{300}{100}}$$

$$At = 1177.053 [mm^2]$$

Por lo tanto, el diámetro superior (Dt) y el diámetro de estrangulamiento (dc) para la carcasa son:

$$Dt = \sqrt{\frac{4 * At}{\pi}}$$

$$Dt = 38.71 [mm] \approx 40[mm]$$

$$dc = \sqrt{\frac{4 * Ac}{\pi}}$$

$$dc = 29.41 [mm] \approx 30[mm]$$

Realizando el mismo procedimiento para el caso del separador, se tienen los siguientes valores para el diámetro superior (Dt) y diámetro de estrangulamiento (dc):

$$Dt = 33.12 [mm] \approx 35[mm]$$

$$dc = 25.17 [mm] \approx 25[mm]$$

2.2.7.5. Dimensionamiento de la Cuenca de Vertido

La cuenca de vertido mencionada anteriormente, tiene como principal objetivo reducir el momento del metal líquido haciendo que este caiga en primer lugar en esta cavidad, y fluya suavemente al bebedero. Para que la colada ingrese sin turbulencia al molde, la cuenca de vertido debe tener la profundidad suficiente que permita lograr este objetivo. La bibliografía recomienda una profundidad de 2.5 veces el diámetro a la entrada del bebedero, adicional se rigen ciertas dimensiones según la Figura 2.40. a continuación.

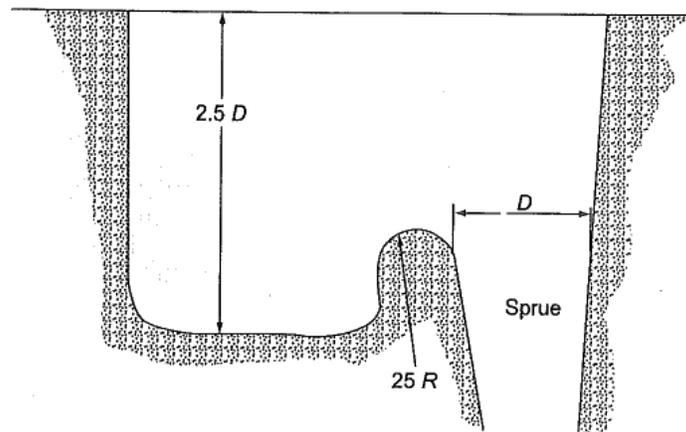


Figura 2.40. Dimensiones para la Cuenca de Vertido.
Fuente: (Rao, 2013, pág. 127)

$$Hv = 2.5 * Dt$$

$$Hv = 100 [mm]$$

Estos valores serán usados para ambos casos.

2.2.7.6. Dimensionamiento de los Canales y Entradas de Alimentación

El dimensionamiento de los canales y entradas de alimentación, parte de un concepto llamado "Gating Ratios" (relación de alimentación), el mismo que se refiere a la relación entre las secciones transversales entre el bebedero, canal de alimentación y la entrada de alimentación.

Para esta relación de áreas existe una distinción bien grande entre los sistemas presurizados y los no presurizados. Para los sistemas no presurizados, los cuales son recomendados para fundiciones de aleaciones ligeras como Aluminio y Magnesio, se tienen relaciones de alimentación que va en aumento desde el bebedero hasta los canales y entradas de alimentación.

Los valores recomendados por la bibliografía se encuentran en la Tabla 2.22. a continuación.

Tabla 2.22. Relaciones de alimentación usados en la práctica

Aluminio	1:2:1
	1:3:3
	1:4:4
Bronce al aluminio	1:2.88:4.8
Latón	1:1:1
	1:1:3
	1.6:1.3:1
Cobre	2:8:1
	3:9:1
Fundición dúctil	1.15:1.1:1
	1.25:1.13:1
Fundición gris	2:1.5:1
	2:3:1
Magnesio	1:2:2
	1:4:4
Fundición maleable	1:2:9.5
	1.5:1:2.5
	2:1:4.9
Acero	1:1:7
	1:2:1
	1:2:1.5

Fuente: (Rao, 2013, pág. 144)

La relación de alimentación más usada en sistemas no presurizados para aleaciones de Aluminio es 1:4:4, siendo la relación de los elementos Bebedero: Canal de Alimentación: Entrada de Alimentación.

Entonces, el canal de alimentación para la carcasa tendría un área total de:

$$A_{CA} = 4 * A_c$$

$$A_{CA} = 2718.288[mm^2]$$

Asumiendo dos canales de alimentación entonces se tiene:

$$A1_{CA} = \frac{A_{CA}}{2}$$

$$A1_{CA} = 1359.144 [mm^2]$$

Se asume una sección cuadrada para lo cual las dimensiones para el canal de la carcasa son:

$$H_{CA} = W_{CA} = \sqrt{A1_{CA}}$$

$$H_{CA} = W_{CA} = 36.86 [mm] \approx 40 [mm]$$

Para las entradas de alimentación se sigue el mismo proceso. Se asumen dos entradas de alimentación a la pieza. Por lo que las dimensiones de esta serán las mismas.

$$H_{EA} = W_{EA} = 40 [mm]$$

Utilizando la misma relación se tienen los siguientes resultados para el separador.

El canal de alimentación tendría un área total de:

$$A_{CA} = 4 \times A_c$$

$$A_{CA} = 1990.2 [mm^2]$$

Asumiendo dos canales de alimentación entonces se tiene:

$$A1_{CA} = \frac{A_{CA}}{2}$$

$$A1_{CA} = 995.1 [mm^2]$$

Se asume una sección cuadrada para lo cual las dimensiones para el canal son:

$$H_{CA} = W_{CA} = \sqrt{A1_{CA}}$$

$$H_{CA} = W_{CA} = 31.545 [mm] \approx 35 [mm]$$

Para las entradas de alimentación se sigue el mismo proceso. Se asumen dos entradas de alimentación a la pieza. Por lo que las dimensiones de esta serán las mismas.

$$H_{EA} = W_{EA} = 35 [mm]$$

2.2.7.7. Dimensionamiento de la Base del Bebedero o Colector de Escoria

Este es un depósito en la base del canal del bebedero, que sirve para reducir el momento con el que llega el metal fundido a la base del mismo y que la colada fluya de manera más uniforme hacia el molde. A su vez, sirve para reducir la erosión o que los defectos a causa de esto se produzcan fuera de la pieza.

En la Figura 2.41. se puede observar dimensiones recomendadas para esta base del bebedero.

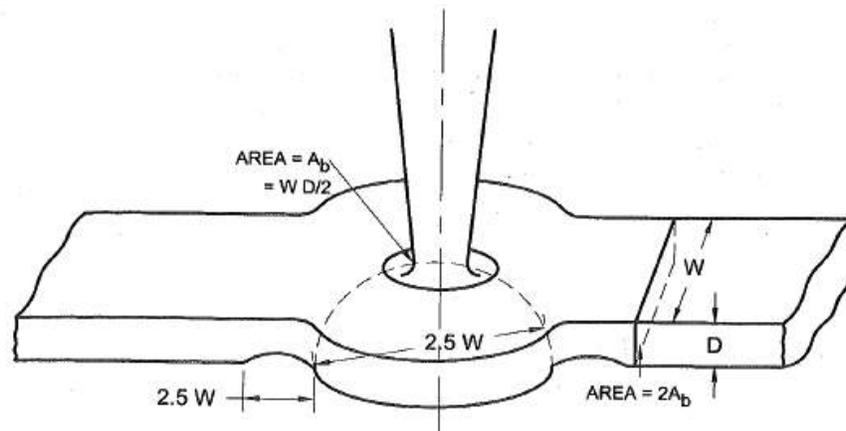


Figura 2.41. Esquema de regencia para dimensionamiento de la base del bebedero
Fuente: (Rao, 2013, pág. 130)

Entonces, el diámetro de la base del bebedero para la carcasa es:

$$D_{BB} = 2.5 * W_{CA}$$

$$D_{BB} = 100 [mm]$$

La altura de la base del bebedero según la bibliografía debe ser por lo menos de la misma profundidad que el canal de alimentación. Dado que la masa de colado es muy grande, se considera una profundidad mayor.

$$H_{BB} \geq H_{CA}$$

$$H_{BB} \approx 60 [mm]$$

Realizando el mismo proceso para el separador, se obtienen los siguientes resultados:

$$D_{BB} = 2.5 \times W_{CA}$$

$$D_{BB} = 87.5 [mm]$$

La altura de la base del bebedero es:

$$H_{BB} \geq H_{CA}$$

$$H_{BB} \approx 40 [mm]$$

2.3. Simulación por elementos finitos del proceso de fabricación por fundición

La herramienta de simulación por elementos finitos, permite predecir posibles defectos de fundición. La asertividad de los resultados, depende las entradas y la compatibilidad de las mismas con el proceso de fabricación.

Las principales entradas para este proceso de simulación son:

- Modelado del elemento.
- Mallado del mismo.
- Coeficiente de transferencia de calor en la interface molde y pieza (HTC).
- Condiciones de borde.
- Parámetros de ejecución.

Uno de los parámetros de mayor importancia es el coeficiente de transferencia de calor (HTC) entre el metal fundido y el molde durante la solidificación. Este parámetro es determinado en gran parte de forma experimental, debido a que durante la solidificación del metal liquido dentro del molde, ocurre una contracción de la pieza en todas las direcciones según la frontera de enfriamiento, provocando la formación de una intercara entre el molde y la pieza, dada por los espacios que la pieza deja, los mismo que se llenan de aire, vapores y otros gases; lo cual provoca un cambio en el flujo de calor. Según la bibliografía consultada, para fundiciones de aluminio y moldes de sílice, se encontraron dos investigaciones que se tomaron como referencia para el presente trabajo, la primera cuyo valor del HTC es 900 [W/m²-K] (O'Mahoney & Browne, 1999); y la segunda con el valor del HTC determinado es de 1000 [W/m²-K] (Woolley, Pohanka, & Woodbury, 2006). Para el presente trabajo, el HTC que se manejo fue de 1000 [W/m²-K].

Determinadas las principales condiciones del proceso de forma analítica, se procede con el proceso iterativo de diseño para fijar la ubicación y número de los elementos

para obtener la mejor configuración. Para este proceso, se usó la simulación por elementos finitos con las entradas antes descritas.

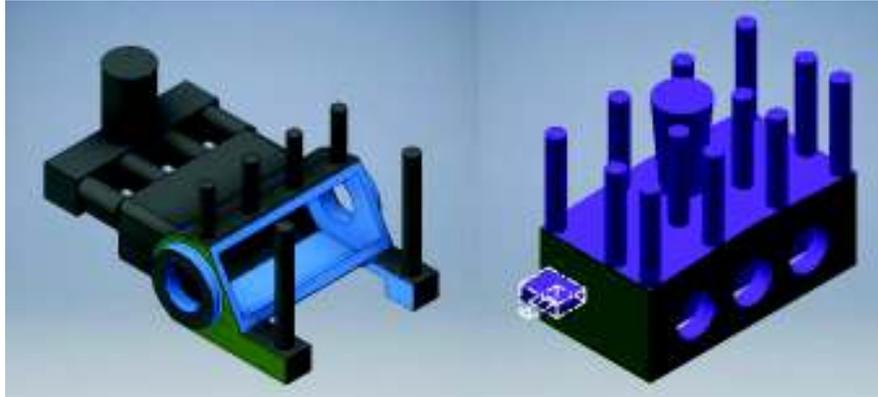


Figura 2.42. Modelado de las piezas con los principales parámetros de diseño del proceso
Fuente: (Propia)

En la Figura 2.43. y Figura 2.44., se muestran los resultados de las simulaciones con la mejor configuración.

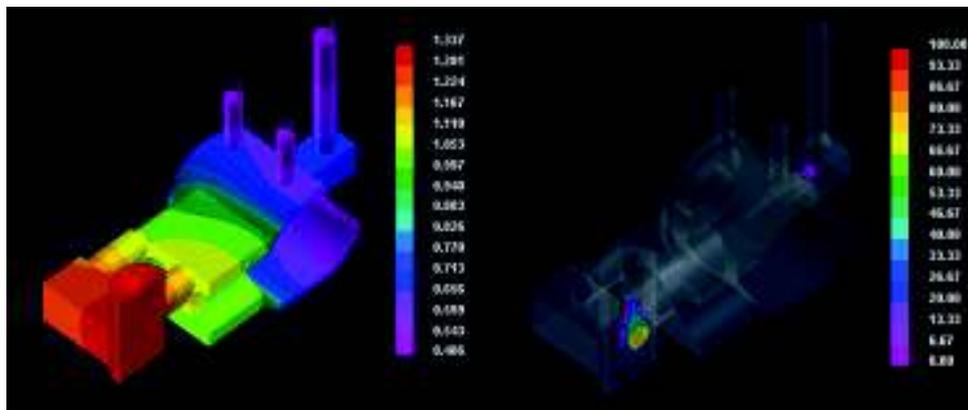


Figura 2.43. Resultados de la simulación. Módulo de Chvorinov (izq.) % de porosidad (der.).
Fuente: (Propia)

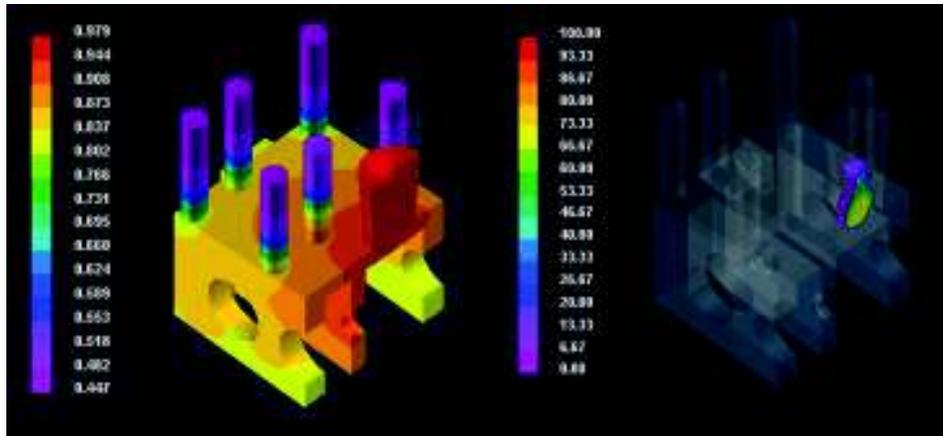


Figura 2.44. Resultados de la simulación. Módulo de Chvorinov (izq.) % de porosidad (der).
Fuente: (Propia)

2.4. Manufactura de los elementos mecánicos

Definidos todos los parámetros del proceso de fabricación, se empieza con el proceso de fabricación de modelos y cajas de machos, posteriormente se realizan los moldes y noyos; y finalmente se procede con la preparación de la colada en función a la composición química requerida y colado hacia los moldes.

2.4.1. Elaboración de modelos, moldes, cajas de noyos y noyos

2.4.1.1. Elaboración de modelos y cajas de noyos

Para este proceso, se utilizaron 2 diferentes tecnologías de manufactura aditiva. La primera de impresión 3D por extrusión para la elaboración del modelo del separador y las prensaestopas. Y manufactura por capas para el modelo de la carcasa y cajas de noyos.

Se escogió impresión 3D para los modelos de las prensaestopas dado que el costo para estos elementos que son de menor tamaño, no era tan elevado. Para el caso del separador, se eligió esta tecnología dado que por su geometría se podía jugar con menores espesores y mayor separación en las nervaduras internas del modelo, sin comprometer la resistencia del mismo.

Para las cajas de noyos se seleccionó la manufactura por capas dado que estos iban a contener grandes masas de arena que debían contenerse con una presión ligeramente elevada y a la vez debían ser manipuladas varias veces para determinar la composición porcentual de cada resina. De igual forma, para la Carcasa se seleccionó

este tipo de tecnología de manufactura aditiva debido a su gran tamaño y volumen de arena del molde, así como también una geometría más compleja por lo que iba a requerir varias pruebas para verificar la calidad de los moldes antes del moldeo, por lo que esta manipulación requiere de mejores propiedades de durabilidad para la fabricación.

Se realizó esta manufactura por capas de madera MDF, con capas de espesor de 9mm. Se seleccionó este material y dicho espesor, ya que bajo estas características, se tiene el menor precio con las características requeridas.

A continuación, se muestran algunas fotos referentes al proceso de fabricación de modelos y cajas de noyos.

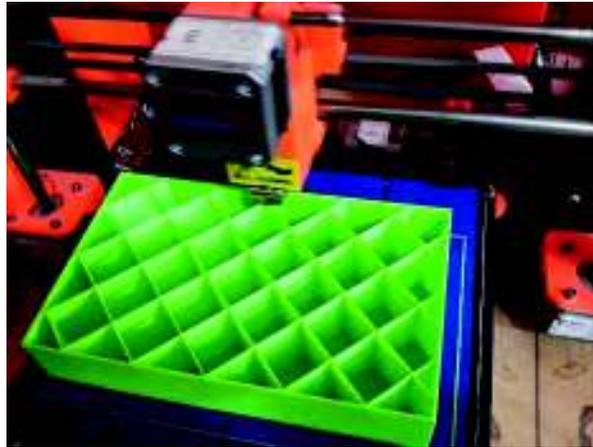


Figura 2.45. Proceso de impresión 3D con cabezal extrusor
Fuente: (Propia)



Figura 2.46. Proceso de obtención de cajas de noyos por manufactura de capas
Fuente: (Propia)

2.4.1.2. Moldeo de Moldes y Noyos

Para poder tener un control de todo el proceso de fabricación de los elementos mecánicos, se procedió a realizar una nueva mezcla de arena de moldeo que cumpla con las mejores propiedades para el propósito del presente trabajo, por lo cual se realizó algunos ensayos para determinar que composición debe tener la arena de moldeo para los mejores resultados. A continuación, se muestran las curvas con las diferentes propiedades y composiciones para la arena de moldeo:

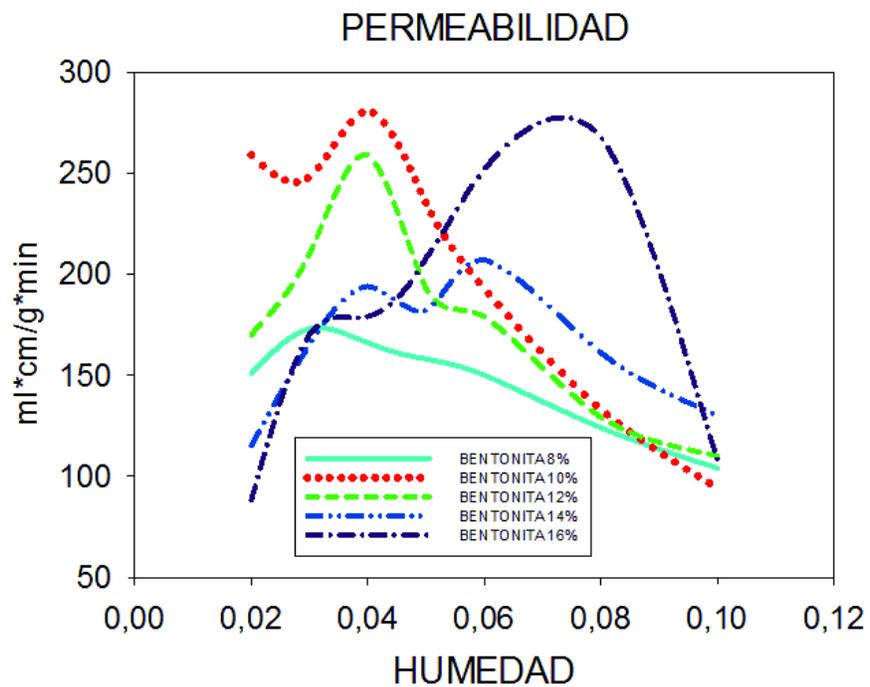


Figura 2.47. Permeabilidad vs % de agua.
Fuente: Laboratorio de Fundición - EPN

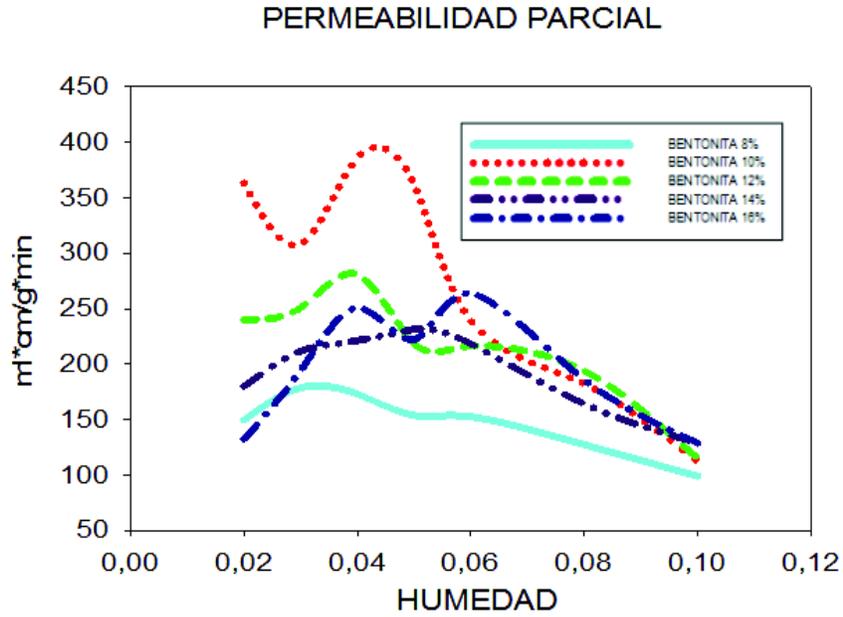


Figura 2.48. Permeabilidad Parcial vs % de agua.
Fuente: Laboratorio de Fundición - EPN

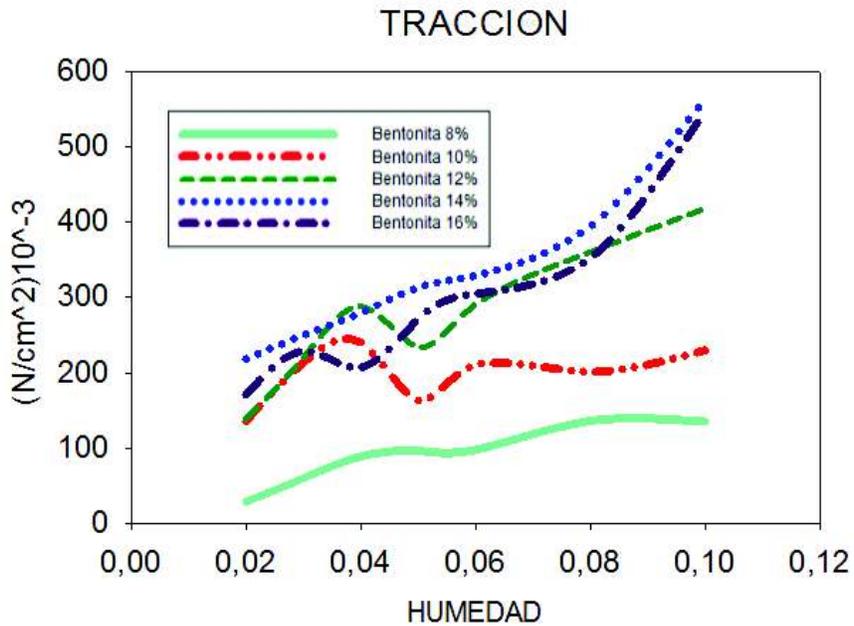


Figura 2.49. Resistencia a la Tracción vs % de agua.
Fuente: Laboratorio de Fundición - EPN

Dado que se van a manejar grandes masas de arena para realizar los moldes, una de las propiedades de mayor interés es la resistencia a la tracción. Observando la Figura

2.49. anterior, se observa que la composición con mayor resistencia a la tracción es con un 14% de bentonita, y que a medida que se incrementa el porcentaje de agua, este también aumenta.

La permeabilidad de la arena es otra de las propiedades cruciales para un buen resultado. Por esto, en función a la Figura 2.47. y Figura 2.48. anteriores, se observa que la mayor permeabilidad se obtiene con un 10% de bentonita, los valores de mayor permeabilidad son con una composición de agua del 4%.

Se aprecia el detalle de los informes en Anexo 3. Análisis de Arena Permeabilidad y Anexo 4. Análisis de arena – Tracción

Dado el gran tamaño de los moldes que se van a manejar, se requiere una resistencia mecánica mucho más alta, por lo que se propone la adición de melaza en dicha mezcla de moldeo. Para determinar la composición de la mezcla de moldeo, se realizaron varios ensayos para determinar la composición con mayor resistencia mecánica con la adición de melaza en la mezcla. Los resultados del estudio se muestran en la Figura 2.50.

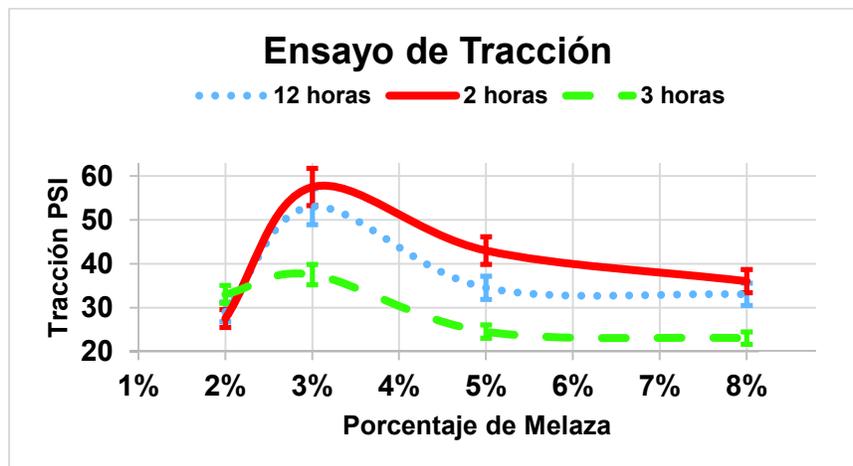


Figura 2.50. Resistencia a la tracción vs. % de Melaza
Fuente: Laboratorio de Fundición – EPN

Se observa que la mayor resistencia a la tracción se tiene con un 3% de adición de melaza en la mezcla para cualquier tiempo de secado. Los mejores resultados se muestran con 2 horas de secado de la mezcla.

Un detalle del estudio realizado en el laboratorio se observa en el Anexo 5. Análisis de mezcla de arena con melaza

Basados en los resultados de los ensayos de análisis de arena expuestos, se determina que mezcla de moldeo cumple con las mejores propiedades con la siguiente composición: Bentonita 10%, Agua 4% y Melaza 3% con un tiempo de secado de 2 horas. Determinada la composición de la mezcla se procede a añadir los porcentajes descritos sobre la arena base y mezclar hasta obtener una mezcla homogénea como se muestra en la Figura 2.51.



Figura 2.51. Arena nueva para moldeo
Fuente: (Propia)

Una vez determinada y realizada la mezcla de moldeo se procede con el proceso de moldeo, una vez finalizado este proceso se aplica una capa de pintura a los moldes con una mezcla que se describe a continuación:

- Agua 70%
- Melaza 20%
- Bentonita 5%
- Grafito 5%

Esta capa de pintura sobre el molde, permite obtener un mejor acabado superficial y evita desprendimiento de arena.

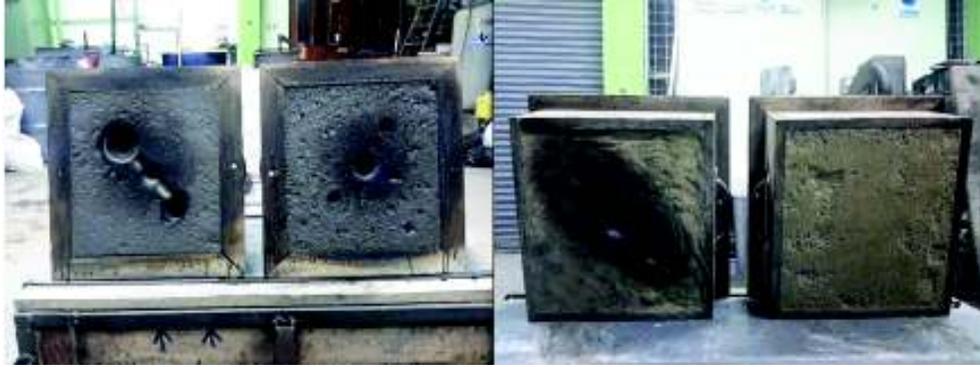


Figura 2.52. Moldeo de las prensaestopas
Fuente: (Propia)



Figura 2.53. Moldeo del Separador (molde inferior)
Fuente: (Propia)



Figura 2.54. Moldeo de la carcasa (molde inferior)
Fuente: (Propia)



Figura 2.55. Moldeo de la carcasa (molde superior)
Fuente: (Propia)

Para la elaboración de los noyos, en primer lugar, se calcula la masa de arena requerida para cada uno de los noyos, determinado el valor del mismo se agregan las resinas en el siguiente orden y porcentaje:

1. Resina A, resina de base Fenólica: 3% de la masa de Arena.
2. Resina B, resina de base Isocianato: 40% de la masa de la Resina A.
3. Resina C, catalizador para endurecimiento de la mezcla: 3% de la masa de la Resina A

Nota: el valor de la resina C o catalizador puede variar en función al tamaño del noyo.

De esta forma quedan los siguientes valores para la elaboración de los diferentes noyos:

Carcasa:

Tabla 2.23. Noyo para vaciado de cilindros y alojamiento del cigüeñal

MASA DE ARENA	26 [kg]
RESINA A, base fenólica 3% de la masa de Arena	780 [g]
RESINA B, base isocianato 40% de la Resina A	312 [g]
RESINA C, catalizador 3% de la Resina A	23.4 [g]

Fuente: (Propia).

Tabla 2.24. Valores para la elaboración del noyo soporte de corrección de una contra salida

MASA DE ARENA	3 [kg]
RESINA A, base fenólica 3% de la masa de Arena	90 [g]
RESINA B, base isocianato 40% de la Resina A	36 [g]

RESINA C, catalizador 10% de la Resina A	9 [g]
---	-------

Fuente: (Propia).

Para el caso de este último noyo soporte se escoge un 10% de catalizador dado que la cantidad de arena es mucho menor a los otros noyos, y es fácil y rápido el llenado de la caja de este noyo.

Separador:

Tabla 2.25. Valores para la elaboración del noyo para el vaciado de cilindros, plunger y cámara de presión del Separador.

MASA DE ARENA	12,6 [kg]
RESINA A, base fenólica 3% de la masa de Arena	378 [g]
RESINA B, base isocianato 40% de la Resina A	151.1 [g]
RESINA C, catalizador 3% de la Resina A	11.34 [g]

Fuente: (Propia).

Una vez realizada la mezcla en el orden indicado y hasta lograr una homogeneidad de la misma se procede a llenar las cajas de los noyos en el menor tiempo posible, presionando o apisonando cada carga de mezcla de arena para noyo para la correcta compactación y posterior dureza y resistencia del noyo. Dada la gran masa de arena que queda suspendida, se refuerzan los noyos con varillas de acero a lo largo de los cilindros sobre los cuales se asienta cada uno de los noyos. A continuación, se muestran algunas imágenes de los noyos y montaje de los mismos sobre los moldes.



Figura 2.56. Molde inferior y noyo del separador
Fuente: (Propia)



Figura 2.57. Noyos de la carcasa montados en el molde inferior
Fuente: (Propia)

2.5. Proceso de fabricación por fundición

El proceso de obtención de colada debe tomar cuenta los siguientes factores de mayor influencia:

1. Selección del material base para la fundición (lingotes o chatarra) y limpieza de la misma

Este proceso es de suma importancia ya que de este depende la calidad, pureza y composición química de los elementos a fabricar.

2. Precalentamiento de la carga, horno y herramientas de trabajo

Las fundiciones de aluminio son muy propensas a absorber hidrógeno, el mismo que queda atrapado en la colada y forma posteriormente porosidades en las piezas fabricadas. El primer paso para cuidar de estos defectos de fundición, es precalentar el horno y toda la carga para la fundición y herramientas, evitando así introducir humedad en la colada.

3. Adición del refinador

Para el presente trabajo se utilizó el método químico, el mismo que consiste en la adición de aleaciones madre, para este caso la aleación Al-5Ti-B. Este método causa la liberación de partículas de fase intermetálica, las mismas que crean más sitios de nucleación. (Campbell, 2003)

4. Fundentes químicos

Son compuestos químicos que purifican y facilitan la separación de impurezas diluidas en el material fundido, permitiendo así limpiar, desoxidar y refinar la colada. El fundente utilizado para el presente trabajo fue el ALUFUNDEX, cuya ficha técnica se encuentra en el Anexo 6. ALU FUNDEX

5. Desgasificación química

Consiste en introducir un agente químico que, al entrar en contacto con la colada caliente, se descomponen permitiendo que el hidrogeno disuelto en la colada y ciertas impurezas se volaticen o separen. El compuesto mayormente usado en la industria es el hexacloroetano (C_2Cl_6), comúnmente encontrado en tabletas o cartuchos, comercialmente conocido como Apartagas. (Hufnagel, 1992)

En el Anexo 7. APARTAGAS se puede observar la ficha técnica del Desgasificante Apartagas utilizado.

6. Desgasificación mecánica

La desgasificación física o desgasificación con gases inertes es el proceso de desgasificación con mayor eficiencia. Las fundiciones de aluminio son muy susceptibles a absorber hidrogeno del ambiente húmedo, por lo que el proceso de desgasificación es crucial para la calidad final de los elementos mecánicos. El efecto de desgasificación consiste básicamente en el burbujeo de gases inertes insolubles como son el Cloro, Nitrógeno o Argón, las mismas que ingresan a la colada con una presión parcial baja, permitiendo la difusión del hidrogeno atrapado a las burbujas del gas de arrastre. (Garrido Meneses & Sánchez Taco, 2011)

Existen varios métodos empleados para este efecto, en el presente trabajo se utilizó la inyección de gas argón mediante una lanza. Uno de los parámetros más importantes en este proceso es el tamaño de las burbujas inyectadas, teniendo los mejores resultados mientras menor es el diámetro de la burbuja, tal como se puede observar en la Figura 2.58. y un detalle del gas utilizado (Argón) en el Anexo 8. se puede observar la ficha técnica del argón utilizado en el proceso.

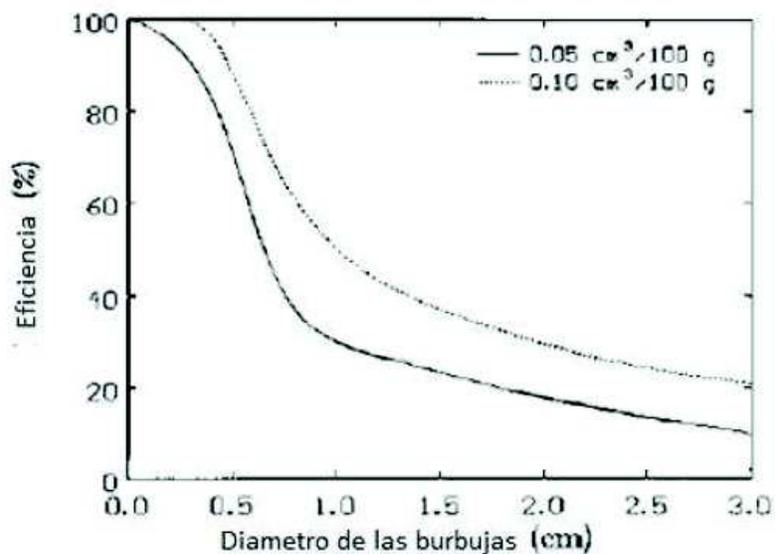


Figura 2.58. Eficiencia vs. Diámetro de las burbujas del gas inyectado.
Fuente: (Totten, 2003)

Como se mencionó anteriormente, se realizó la inyección de argón mediante una lanza; se seleccionó este método ya que se obtienen muy buenos resultados y es el

de menor costo de aplicación. El método consiste en hacer pasar el gas inerte a través de la colada, tal como se muestra en la Figura 2.59. a continuación.

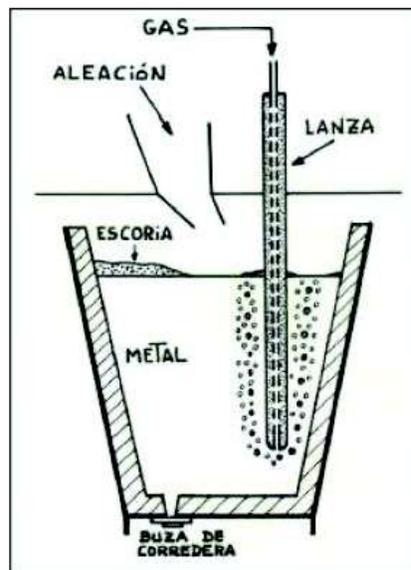


Figura 2.59. Inyección de Argón mediante el método de una lanza.
Fuente: (Enríquez Berciano & Tremps Guerra, 2007)

Para efectos del presente trabajo se fabricó una lanza con una campana al final de la misma con agujeros de 2-3 [mm] de diámetro, lo cual mejoró la distribución de las burbujas en el crisol. En la Figura 2.60. se observa las herramientas fabricadas en el laboratorio dentro de las cuales está la lanza para la desgasificación mecánica.



Figura 2.60. Herramientas fabricadas para el proceso de obtención de la colada.
Fuente: (Propia)

Nota: Todos los procesos anteriormente citados, deben realizarse con un control exhaustivo de la temperatura de la colada, la misma que no debe variar más de entre 680 [°C] a 720 [°C].

Los mejores resultados se obtuvieron mediante la aplicación a detalle del proceso descrito a continuación.

1. Lavado con sosa caustica de la chatarra de pistones.
2. Selección de la chatarra de pistones.
3. Pre calentamiento del horno y de la chatarra.
4. Carga completa de la chatarra.
5. Una vez fundido toda la carga del horno, se realiza un control de temperatura de la colada en lapsos de 5 minutos.
6. Al tener la colada en temperatura entre 680 y 700 [°C], se introduce el refinador de grano durante 5 minutos, el tiempo está en función a la carga de material.
7. Finalizado el proceso anterior se añade el fundente, siempre controlando que la temperatura esté entre 680[°C] y 720[°C]. Para la aplicación de este compuesto, se recomienda temperaturas mayores a 700[°C], pero que no sobrepasen los 720[°C]. La duración de este paso varía en función de la carga, y se recomienda dejar dos minutos más, a partir de que la colada deje de vibrar.
8. Se procede con la desgasificación química. Este proceso se lo debe realizar con la colada limpia, es decir, retirada toda la escoria generada en el paso anterior. El control de temperatura debe mantenerse entre 680[°C] y 720[°C], se añade el compuesto al interior del mismo mediante una herramienta que permite la liberación del compuesto de forma uniforme al interior de la colada. Se recomienda mantener la aplicación durante 2 minutos adicionales a partir de que la colada deja de vibrar.
9. Finalizado el proceso anterior, se procede con la desgasificación física. Este paso consiste en introducir la lanza para inyectar argón durante por lo menos 3 minutos, se puede inyectar el argón hasta el último momento de retirar el crisol. El caudal de inyección debe ser de 3 [Lpm]. El control de temperatura se mantiene en los mismos rangos.
10. Finalizado todo el proceso y despejada la zona de colado, se procede a retirar el crisol del horno para verter la colada en el molde en el menor tiempo posible.

11. Esperar a que la pieza colada este por completo solidificada para poder desmoldar la misma.

El proceso descrito anteriormente, debe cumplirse para la preparación de la colada con la adición de los compuestos en las cantidades descritas en la Tabla 2.26.

Tabla 2.26. Compuestos agregados a la colada

COMPUESTO	CANTIDAD
Refinador Al-5Ti-B	0.2%
Alufundex	0.6%
Apartagas	0.25%
Argón	3-5 lpm

Fuente: (Propia)

A continuación, se muestran algunas imágenes del proceso de fabricación por fundición.



Figura 2.61. Carga de chatarra en los respectivos crisoles.
Fuente: (Propia).



Figura 2.62. Proceso de preparación de la colada de aluminio.
Fuente: (Propia)



Figura 2.63. Extracción de la colada de aluminio del horno.
Fuente: (Propia)



Figura 2.64. Colado del material fundido en el molde.
Fuente: (Propia)

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Elementos Fabricados

Una vez realizado el proceso de fundición descrito anteriormente, se obtuvieron los elementos mecánicos como piezas en bruto, por lo que posterior a este proceso se debe maquinarlos para eliminar el sistema de alimentación y entregar las dimensiones finales según los planos de diseño.



Figura 3.1. Maquinado de la Carcasa.
Fuente: (Propia).

En la Figura 3.1. se observa el proceso de maquinado de la carcasa.

Finalizado el proceso de maquinado de todos los elementos fabricados, se tienen las piezas con las dimensiones y acabado superficial determinado. A continuación, se muestran los resultados.



Figura 3.2. Carcasa terminada.
Fuente: (Propia).



Figura 3.3. Separador terminado.
Fuente: (Propia).



Figura 3.4. Prensaestopas terminadas.
Fuente: (Propia).

Como se observa en las Figuras 3.2, 3.3 y 3.4, los elementos mecánicos fabricados cumplen con los requerimientos de diseño planteados.

3.2. Evaluación de las propiedades de las piezas obtenidas

Finalizado el proceso de fabricación, se procede a evaluar las propiedades del material seleccionado, para cumplir así con todas las exigencias del diseño planteados previamente.

3.2.1. Espectrometría de chispa de la aleación obtenida

Este ensayo permite determinar la composición química de la aleación. Se realizó el análisis de espectrometría de chispa empleando el equipo de espectrometría del Laboratorio de Fundición marca BRUKER modelo Q2 ION según la Norma E 1251.

En el Anexo 9. Ficha técnica – Equipo espectrometría de chispase puede observar el detalle del utilizado en el laboratorio.

Los valores obtenidos después de este análisis se pueden observar en la Tabla 3.1.

Tabla 3.1. Composición química de la aleación obtenida

		Muestra
		Al_1
Elemento		Valor [%]
Silicio	Si	13.21
Hierro	Fe	0.418
Cobre	Cu	0.758
Manganeso	Mn	0.066
Magnesio	Mg	0.021
Cromo	Cr	0.019
Níquel	Ni	0.05
Zinc	Zn	0.114
Titanio	Ti	0.05
Plomo	Pb	0.0059
Estaño	Sn	< 0.01
Vanadio	V	0.016
Estroncio	Sr	< 0.003
Circonio	Zr	0.21
Cobalto	Co	0.0069
Calcio	Ca	0.0035
Aluminio	Al	85.23

Fuente: (Laboratorio de Fundición – EPN)

Se observa en la Tabla 3.1. que la composición química de la aleación obtenida, se encuentran dentro de los límites establecidos de la aleación A 413.0 del Anexo 10. Informe técnico – Espectrometría por chispa

En la Figura 3.5. se muestra el diagrama de fase de Al-Si, en el cual podemos observar según la composición arrojada, que la corresponde a una aleación hipereutética.

En una aleación hipereutética, en términos generales, consiste en una fase primaria de una matriz de α - aluminio y una segunda fase de silicio eutético. La modificación de la fase del silicio en este tipo de aleaciones se conoce como refinamiento. Éste fenómeno, permite que el aluminio primario forme un precipitado submicroscópico con características cristalográficas muy similares al silicio, lo que permite que éste nuclee

más fácilmente y crezca de manera uniforme durante la solidificación. (ASM Handbook, 1998)

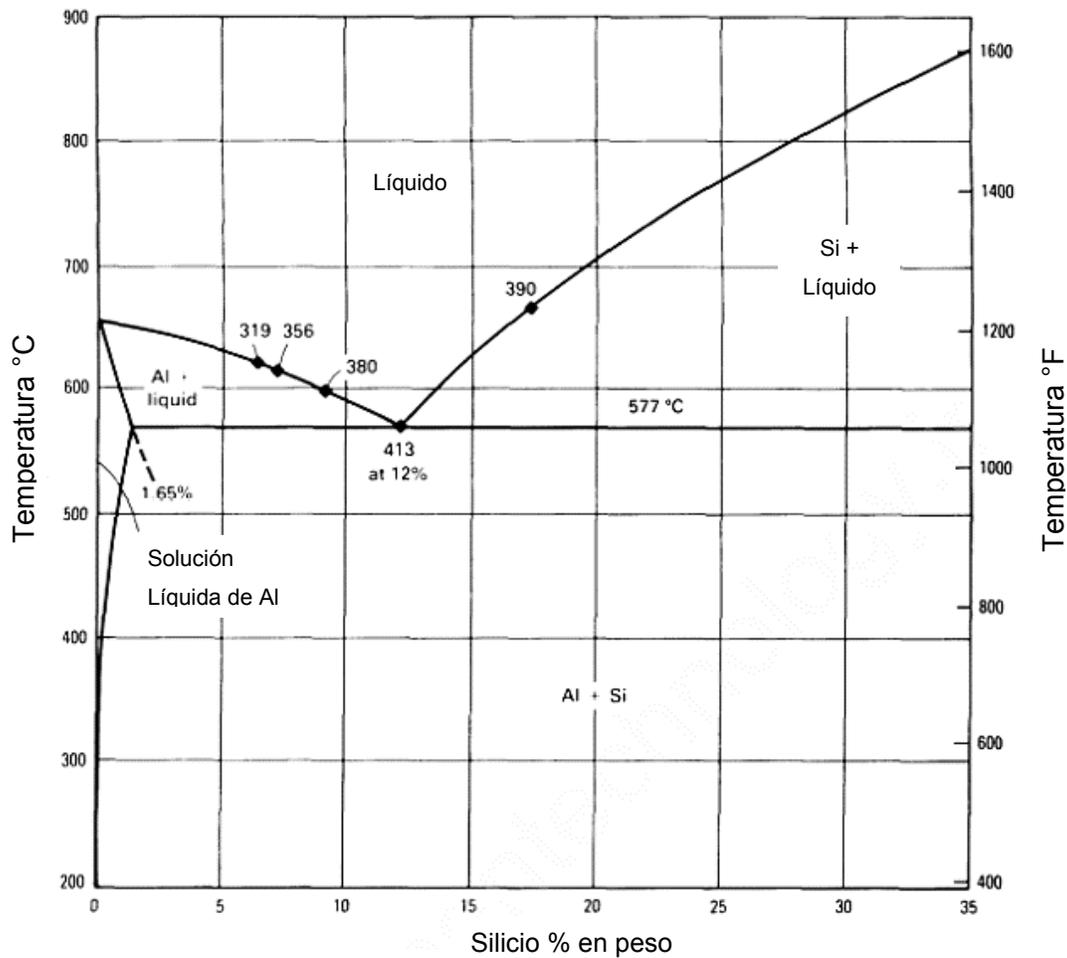


Figura 3.5. Diagrama de fase Al-Si.
Fuente: (ASM Handbook, 1998)

3.2.2. Ensayos de tracción

Los ensayos de tracción permiten evaluar ciertas propiedades mecánicas como son el Módulo de Elasticidad, Porcentaje de Elongación, Esfuerzo Máximo y características como Tenacidad y comportamiento del material según la curva de Esfuerzo vs Elongación.

Este ensayo se lo realizó en las instalaciones del Laboratorio de Análisis de Esfuerzos y Vibraciones con la máquina de ensayos universal del mismo.



Figura 3.6. Máquina de ensayos universal del Laboratorio
Fuente: (Propia).

Tabla 3.2. Resultados del ensayo de tracción

PROBETA ID	ÁREA DE FRACTURA	RESISTENCIA A LA TRACCIÓN	% DE ELONGACIÓN EN 50 mm
T - 1 		108.3 [MPa]	3.76 %

PROBETA ID	ÁREA DE FRACTURA	RESISTENCIA A LA TRACCIÓN	% DE ELONGACIÓN EN 50 mm
T - 2 		110.9 [MPa]	3.80 %
T - 3 		98.4 [MPa]	-

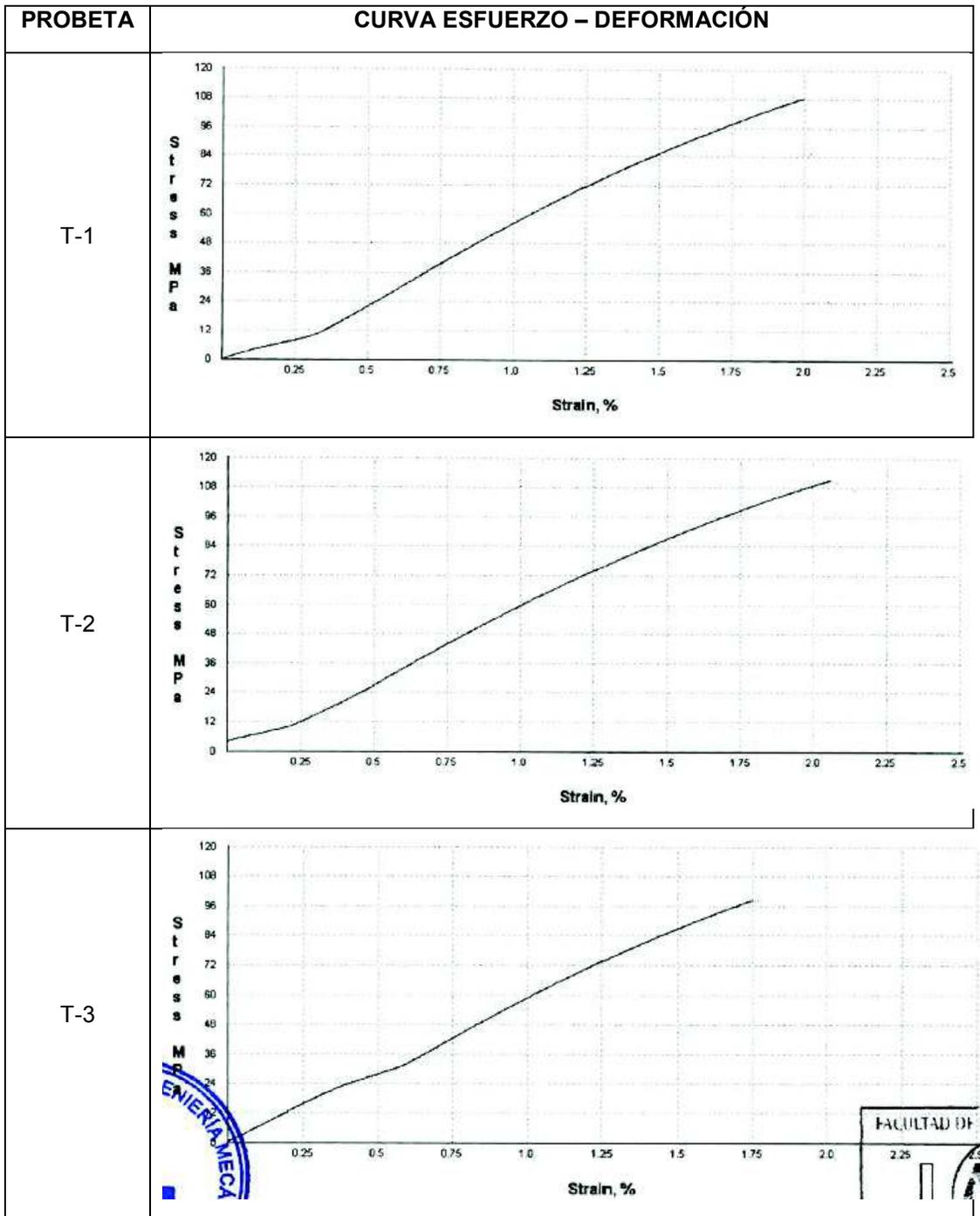
Fuente: (Propia)

La información referente al ensayo se extiende en el Anexo 11. Informe de ensayo de tracción

Se observa en la Tabla 3.2. los resultados de los ensayos de tracción fueron excelentes, entregando el valor de máximo esfuerzo en concordancia con los valore propios de la aleación.

También se puede observar que 2 de las 3 probetas, fallaron dentro de la marca, lo cual permite inferir que se trata de un material continuo, dado que falla dentro de lo esperado por el desarrollo teórico.

Tabla 3.3. Curvas de Esfuerzo – Deformación de las probetas ensayadas.



Fuente: (Propia)

En la Tabla 3.3. se observan las curvas de Esfuerzo- Deformación de las tres probetas ensayadas. La fractura que se produce en las tres probetas, se trata de una fractura frágil, esto se evidencia en la poca deformación antes de la ruptura.

Estos valores experimentales de las propiedades mecánicas obtenidas, permite asegurar la calidad de la aleación obtenida. Las sollicitaciones mecánicas a las cuales estarán sometidos los elementos son estáticas, con un valor muy inferior al limite elástico obtenido. De esta forma, se garantiza la respuesta del material frente a las sollicitaciones mecánicas observadas en el mismo.

3.2.3. Ensayos no destructivos realizados a los elementos

El análisis por ensayos no destructivos permite determinar discontinuidades en el material, sin alterar sus propiedades de servicio. Para propósitos de este trabajo, se realizó este procedimiento, basado en la norma ASTM E-165, TIPO II método A.

Estos ensayos se los realizó en el laboratorio de Ensayos no Destructivos de la Facultad de Ingeniería Mecánica de la Escuela Politécnica Nacional.

En la Figura 3.7. y Figura 3.8. se observan las piezas a ser analizadas después del proceso de limpieza de los elementos fabricados.



Figura 3.7. Retenedores de alta y de baja
Fuente: (Propia)

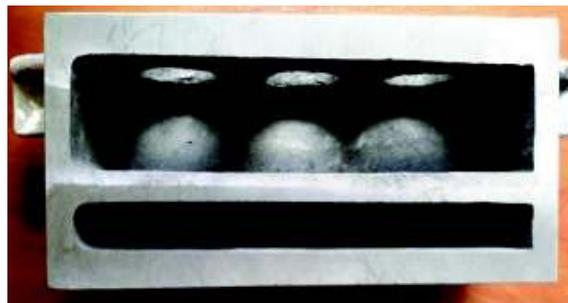


Figura 3.8. Separador
Fuente: (Propia)

Los puntos de interés en los retenedores para el análisis por ensayos no destructivos son los ángulos que se forman entre la pared y la base del mismo.



Figura 3.9. Retenedores de alta.
Fuente: (Propia)



Figura 3.10. Retenedor de baja.
Fuente: (Propia)

En el separador el punto de mayor interés son las bases de sujeción donde va a existir la mayor carga, por lo que se centrará el ensayo a estas zonas.



Figura 3.11. Base de sujeción izquierda.
Fuente: (Propia)



Figura 3.12. Base de sujeción derecha.
Fuente: (Propia)

Una vez que se produjo la debida limpieza de toda la zona de interés, procedemos a usar un limpiador (MET-L-CHECK E59A) y tener un excelente secado de toda la superficie.

Una vez lista la superficie a analizar se procede a la aplicación de líquido penetrante MET-L-CHECK VP-30 por un tiempo de 10 minutos para luego remover el exceso del líquido penetrante de la superficie.



Figura 3.13. Líquido penetrante en retenedores.
Fuente: (Propia)



Figura 3.14. Líquido penetrante en base de sujeción de separador.
Fuente: (Propia)

Una vez transcurridos los 10 minutos se procede a la remoción del líquido penetrante, este medio de remoción es según el tipo de penetrante que utilizamos y de acuerdo a la norma ASTM E-165 y MIL-1-16866, esta debe ser a baja presión y con el uso de un paño para evitar extraer el líquido penetrante de las discontinuidades.

Una vez secado se procede a la aplicación del revelador MET-L-CHECK D-70 y lo dejamos por un tiempo de 5 minutos para proceder a realizar una inspección visual de las zonas de interés.

Una vez aplicado el revelador y después de los 5 minutos, procedemos a evaluar las piezas seleccionadas en las zonas de interés.



Figura 3.15. Retenedores de alta.
Fuente: (Propia)

No se observan discontinuidades relevantes en la zona de interés.



Figura 3.16. Retenedor de baja.
Fuente: (Propia)

No se observan discontinuidades relevantes en la zona de interés.



Figura 3.17. Base de sujeción derecho del separador.
Fuente: (Propia)

Se detectan porosidades.



Figura 3.18. Base de sujeción derecho del separador
Fuente: (Propia)

Se detecta porosidad.

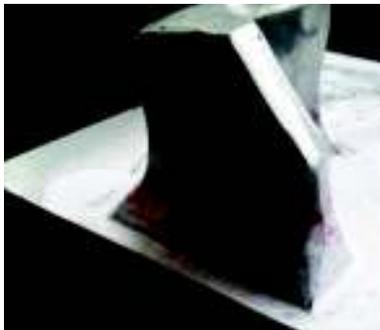


Figura 3.19. Base de sujeción izquierda del separador
Fuente: (Propia)

Se detectan porosidades.

Detalles de los END realizados se aprecian en el Anexo 12. Reporte de inspección por líquidos penetrantes.

3.3. Análisis de resultados

El diseño se completó con la ayuda del software de simulación Ansys 16.1, con el cual se obtuvieron las dimensiones finales que garantizan el correcto funcionamiento de las piezas fabricadas. La gráfica de convergencia a la solución, arroja que a un número de 626772 elementos, la cual la curva se estabiliza y permite obtener resultados confiables sobre los cuales se basa el diseño.

El análisis de las condiciones de borde, permite ingresar las diferentes cargas y suposiciones que simulan de mejor forma el comportamiento de las piezas con la realidad. Se observan que éstas se encuentran correctamente ingresadas debido a que la respuesta del sistema es lógica y acorde a la suposición inicial y también a la similitud entre los resultados obtenidos al momento de realizar el análisis de la carcasa sola y el conjunto de la carcasa y separador, en las que, los valores máximos se encuentran en las mismas zonas donde se asientan las tapas laterales para soportar el cigüeñal con valores muy cercanos. De esta manera se garantiza el diseño propuesto.

La selección del material se la realizó en un principio en base a las condiciones de manufactura y resistencia al medio que debe tener el material para soportar las exigencias del sistema. De esta forma, los resultados arrojados para las propiedades que exige el sistema fueron todos de aleaciones de aluminio. Se selecciona la aleación A413.0, dado que presenta la mejor relación límite elástico – densidad y que a su vez mantiene el precio en el promedio. La obtención de esta aleación fue a partir de chatarra de pistones, entregando posterior a la fundición, con el procedimiento descrito y porcentajes indicados de cada compuesto, la composición química que se muestran en la Tabla 3.1. de los resultados de la espectrometría de chispa.

Los cálculos de modelos y cajas de noyos, permiten asegurar un sobredimensionamiento por contracción y maquinado que ofrece a las piezas un ajuste aproximado de las medidas finales de diseño. Estos cálculos de sobredimensionamiento se encuentran en base a diferentes coeficientes experimentales encontrados en la bibliografía, que van en función del material a fundir, material de los modelos y cajas de machos y también del tipo moldes para el colado del material fundido.

El diseño del proceso de fabricación por fundición, inicia con todos los cálculos del sistema de alimentación. Estos cálculos permiten determinar las secciones, longitud y número recomendado de los diferentes elementos del sistema de alimentación que las piezas a fabricar requieren. La determinación de estos parámetros son determinados en base a coeficientes y ecuaciones experimentales, por lo que este cálculo corresponde a una gran herramienta para el diseño del proceso de fabricación.

La determinación de los diferentes elementos del sistema de alimentación para el proceso de fabricación por fundición, corresponde a una parte del diseño del mismo, ya que estos elementos deben ser posicionados de tal manera que se dirija el enfriamiento de la pieza a fabricar. Para este caso, existen herramientas especializadas de simulación por elementos finitos para procesos de fundición, en los cuales, con el correcto análisis de las condiciones, permite tener una predicción del proceso de colado y enfriamiento del material dentro del molde de las piezas.

Uno de los parámetros de simulación más importantes es el HTC, el coeficiente de transferencia de calor, éste define las condiciones para la interacción entre el material dentro del molde, el molde y el medio durante el enfriamiento. Se encontraron dos investigaciones en las cuales definen el HTC, para fundiciones de aluminio en moldes de sílice, entre 900 [W/m²K] y 1000 [W/m²K]. Para el presente trabajo se utilizó un HTC de 1000 [W/m²K]. De esta forma, mediante un proceso iterativo, se procede a posicionar los diferentes elementos del sistema de alimentación hasta que los resultados muestren un máximo del 3% de defectos de fundición para la pieza y en caso de ser mayores al 3%, que estos se encuentren fuera de la misma. De igual forma, se debe procurar para el diseño del proceso de fabricación, que el enfriamiento de las piezas sea controlado y direccionado, para lo cual los resultados del módulo de Chvorinov son la guía para determinar las posiciones que deben tener los diferentes elementos para obtener los mejores resultados, tal como se muestran en la Figura 2.43. y Figura 2.44. En ambos casos se puede observar que el enfriamiento se direcciona hacia el canal principal de alimentación que funciona a la vez como mazarota, siendo este el último punto en enfriarse, permitiendo así que los defectos de fundición aparezcan fuera de la pieza.

La mezcla de moldeo es uno de los parámetros que juegan un papel muy importante para la calidad final de las piezas obtenidas. Por este motivo, se procede a generar

una nueva mezcla para poder tener un control sobre la misma. Las mezclas comúnmente usadas tienen una composición de: arena sílice, bentonita y agua. Las propiedades encontradas en las diferentes mezclas con diferentes composiciones, no muestran las condiciones requeridas, principalmente en términos de resistencia mecánica de la misma. Por este motivo, se procede a añadir un porcentaje de melaza. Los resultados de los ensayos realizados a la mezcla de moldeo con un porcentaje de melaza se pueden visualizar en la Figura 2.50. obteniendo el mejor comportamiento de la mezcla de moldeo con un porcentaje de 10% bentonita, 4% de agua y un 3% de melaza con un tiempo de secado de 2 horas. Como se observa, el parámetro del tiempo de secado es crucial para las propiedades mecánicas de la mezcla de moldeo. Esto se da por las características de aglutinamiento que posee la melaza a ciertas temperaturas y tiempo de exposición al calor, mostrando los mejores resultados con 2 horas.

El procedimiento descrito en el presente trabajo, permite obtener piezas con una gran calidad con un mínimo de defectos de fundición. Este proceso es replicable para futuros trabajos de fundición. Se observa en las piezas finales obtenidas, la calidad de las mismas, con un mínimo de defectos y un excelente acabado después del maquinado, sin presentar porosidad interna en las zonas de interés donde están actuando las mayores cargas. Esto se debe principalmente tres cosas: el diseño de todos los elementos de alimentación de las piezas y la validación con el software de simulación, al control de la temperatura durante todo el proceso y al tratamiento de la colada para extraer todos los gases atrapados en las mismas, en la cual la desgasificación mecánica resulta el método más efectivo para la extracción de los mismos.

Se observa en los resultados de los ensayos destructivos de tracción de la aleación obtenida, que se trata de una fractura frágil, con un límite elástico antes de la ruptura alto, superior a los 100 [MPa]. El comportamiento frágil de la ruptura es común en aleaciones con un alto porcentaje de silicio (aleaciones hipereutécticas), en el cual la formación de este es una red de precipitados de silicio eutéctico, la grieta se propaga en los planos de corte del silicio o fases intermetálicas de microestructura frágil, en el cual la iniciación de las grietas se da en los extremos agudos de las partículas quebradizas. En estas aleaciones, la solución sólida de alfa aluminio se deforma

ligeramente en formaciones como cuellos en la línea del perfil de la fractura o crestas de rasgadura en la superficie de la fractura. (Malgorzata, 2004)

Según los resultados obtenidos por ensayos no destructivos, las piezas presentan microporosidades que no comprometen el buen funcionamiento de los elementos fabricados. De esta manera, se aceptan las piezas, considerando que:

- Las cargas a las cuales estarán sometidos los elementos mecánicos son estáticas.
- Las discontinuidades observadas en las zonas de interés, son microporosidades aisladas y no acumuladas.

4. CONCLUSIONES

4.1. Conclusiones

- El diseño conceptual, permitió concebir dos alternativas de diseño, de las cuales según los criterios de selección escogidos, se determinó la mejor opción para la fabricación.
- El proceso de diseño para el presente trabajo, se basa en las dimensiones de los otros elementos constituyentes de la bomba, ya que sobre este se montan el resto de componentes que permiten el buen funcionamiento del sistema.
- Para el cálculo de las cargas a las cuales está sometida la Carcasa, se considera que se aplica carga estática sobre los apoyos, lo cual no se aleja de la realidad, dado que el resultado de la sumatoria de fuerzas en cada instante, entrega una fuerza resultante constante.
- El diseño de la carcasa se cumple con todas las características y propiedades exigidas para el ensamble y solicitaciones mecánicas a las cuales estará sometido el sistema de soporte y conexión.
- La selección del material se basa principalmente en 5 aspectos, la resistencia del material frente al medio, las propiedades de fabricación, el peso, la resistencia mecánica y el precio.
- La resistencia del material frente al medio y las propiedades de fabricación son los factores seleccionadores de mayor importancia, ya que al delimitar que tenga excelentes propiedades de fabricación por fundición y que sea resistente al agua fresca, agua salada, aceites e hidrocarburos, el universo de materiales se redujo de 1895 a 34 materiales, de los cuales, casi todos eran aleaciones de aluminio.
- Los factores diferenciadores para la selección de la aleación de aluminio A413.0 son el peso y la resistencia mecánica. Pues en base a estos dos factores, se selecciona el material con mejor límite elástico y menor peso, dado que son las características requeridas para el sistema de soporte y conexión.
- El dimensionamiento de espesores que debe tener el sistema de soporte y conexión, se determina en base a la simulación por elementos finitos, debido a la geometría irregular, aplicar un cálculo teórico se torna muy complejo. La simulación por elementos finitos permite determinar, de manera iterativa, las dimensiones

apropiadas para la geometría, material y cargas a la cual se somete el elemento mecánico.

- La simulación por elementos finitos es una herramienta que permite predecir el comportamiento del sistema en base a las condiciones de borde ingresadas. Por tal motivo, el estudio de las condiciones de borde debe ser exhaustivo para cumplir de mejor manera con las condiciones reales del sistema, ya que de esto depende la validez del resultado.
- La curva de convergencia de la solución, Resultado vs Número de elementos, permite observar que el resultado que nos muestra la simulación es un resultado confiable, en el cual así se aumente el número de elementos, no habrá una variación considerable en el mismo.
- El recurso computacional para la simulación es un factor de suma importancia, ya que el procesamiento de los datos se limita por la capacidad del computador. Por tal motivo, se debe usar eficientemente este recurso, por lo cual, las juntas empernadas se calculan de manera teórica tradicional con lo cual se optimiza el uso y el resultado es muy confiable.
- El cálculo de diseño del proceso de fabricación por fundición es la base sobre la cual se asienta todo el proceso, pero por si solo no es suficiente para obtener los mejores resultados, por lo cual este se ve complementado con la simulación por elementos finitos.
- La simulación por elementos finitos para la etapa de la fabricación por fundición juega un papel sumamente importante, ya que en base a las dimensiones obtenidas del cálculo del proceso de fabricación, se posicionan los diferentes elementos de alimentación de las piezas a fabricar; con lo cual se obtiene un resultado o predicción del proceso.
- La simulación por elementos finitos del proceso, permite seleccionar el diseño del proceso de fabricación con los mejores resultados, permitiendo así la optimización de recursos.
- El proceso de fabricación por fundición se determinó detalladamente para la obtención de piezas de gran calidad que cumplan con las propiedades requeridas.
- El acabado superficial de modelos y cajas de noyos debe ser de alta calidad, además de cumplir con las exigencias del cálculo de sobre espesores y ángulos de

salida, para facilitar la elaboración de moldes y noyos para la posterior fabricación de las piezas.

- La selección y elaboración de la mezcla de moldeo se realizó en base a los parámetros evaluados en el laboratorio, entregando así una mezcla de Bentonita 10%, Agua 4% y Melaza 3% con un tiempo de secado de 2 horas.
- El tiempo de secado es un parámetro de influencia directa con la Resistencia mecánica de la mezcla de moldeo, teniendo los mejores resultados con 2 horas.
- La mezcla de resinas usadas para la fabricación de noyos, deben generar que la mezcla de arena tenga las propiedades de resistencia mecánica para soportar las cargas debido al propio peso y presión del metal, y que a su vez las propiedades de colapsabilidad para su fácil destrucción del noyo después de la fundición.
- La adición de los compuestos, tales como el refinador, fundente y desgasificante, bajo las condiciones y cantidades indicadas en el procedimiento descrito anteriormente, permite obtener un proceso replicable con los mejores resultados posibles.
- La refinación de grano con la adición de una aleación madre, es un método muy efectivo que permite obtener una aleación con excelentes características de resistencia mecánica.
- La adición del fundente químico en las cantidades y condiciones establecidas, permite limpiar en gran medida la colada, separando impurezas de la colada y haciéndolas flotar en la superficie.
- El proceso de desgasificación química es un método no muy efectivo para eliminar porosidades. Por tal motivo, se realiza una desgasificación física con la inyección de argón por medio de una lanza.
- La desgasificación física con la adición de argón por medio de una lanza, debe realizarse de inyectando el gas entre 3 y 5 [lpm] durante por lo menos 3 minutos. El tiempo de aplicación va en función al volumen de colada que se funde.
- El diámetro de los agujeros por los cuales se inyecta el gas, debe ser el menor posible, ya que, al tener burbujas más pequeñas, se genera una mejor distribución y por lo tanto una mejor desgasificación de la colada de hidrogeno disuelto en la misma.
- El control de la temperatura de la colada es uno de los parámetros de mayor cuidado, ya que, de los resultados obtenidos en diferentes pruebas, al manejar una

temperatura entre 680 [°C] y 720 [°C] se obtuvieron los mejores resultados. En casos de sobrepasar dicha temperatura, de acuerdo a la experiencia del presente trabajo, se generan problemas de fragilidad en el material y gran cantidad de discontinuidades en el mismo.

- La evaluación de resultados es un proceso posterior a la fabricación de suma importancia para poder determinar si se consiguieron las condiciones, características y propiedades en las cuales se basa el diseño.
- Determinar la composición química nos permite evaluar y aproximar a la aleación de la cual trata una función. Esto permite observar las diferentes propiedades en función a la aleación determinada en cuanto a la composición química.
- Los ensayos de tracción permiten evaluar las propiedades mecánicas finales con las que cuentan los elementos fabricados. De esta forma se garantiza el factor de seguridad con el que cuenta el sistema.
- Los ensayos no destructivos permiten evaluar las propiedades de los elementos de servicio sin alterar las condiciones de servicio.

4.2. Recomendaciones

- Para realizar la mezcla de moldeo, se recomienda tamizar la arena nueva para tener una mejor distribución de granos y mejorar la permeabilidad de la mezcla de arena.
- Para agregar la bentonita a la arena, se recomienda mezclar con la arena seca, y posterior a lograr una mezcla uniforme de arena y bentonita, agregar el porcentaje de agua de forma uniforme y mezclar hasta homogenizar la mezcla.
- Para la mezcla de arena para noyos, se recomienda mezclar cada resina con la arena de manera individual hasta lograr una mezcla uniforme antes de agregar la próxima resina, esto porque se obtienen mejores resultados y una mezcla más homogénea.
- La temperatura durante todo el proceso de fundición se recomienda no pasar de los 720 [°C].
- Se recomienda que todas las herramientas que entran en contacto con la colada estén libres de impureza y a una temperatura cercana a la de la colada, para evitar el ingreso de impurezas en la colada.

- Para los procesos de adición de refinador, fundente y desgasificante, se recomienda realizarlo con el horno prendido, pero con un control exhaustivo de la temperatura, ya que puede elevarse un poco por los gases residuales que se emiten por estos compuestos.
- Para la desgasificación física con argón, se recomienda inyectar la colada con la lanza de argón hasta el último instante de retirar el crisol del horno, con lo cual se obtienen mejores resultados y una colada más limpia justo antes de colar, esto ayuda a proteger la colada y evitar la absorción de hidrogeno en la misma.
- Para la realización de los ensayos de espectrometría de chispa, se recomienda una superficie por completo plana con un excelente acabado superficial, cercano a un pulido. Este acabado se debe conseguir únicamente con herramientas de corte, mas no con lijas o sustancias abrasivas, dado que estos pueden añadir contenido del compuesto del que estén hechos estas lijas, y entregar un resultado de composición química errónea.
- Para la realización de las probetas de tracción, se replica el procedimiento descrito para fundición, y se vierte la colada sobre moldes de arena cilíndricos para el posterior maquinado.
- Para la realización de los ensayos no destructivos con tintas penetrantes, se recomienda un acabado superficial de alta calidad para evitar resultados de discontinuidades causadas por el acabado superficial basto. En superficies en las cuales el acabado superficial no requiere de un alto gasto, se debe interpretar estos resultados en función a la forma que se muestre en la etapa de revelado.

5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ammen, C. (1979). *The complete handbook of Sand Casting*. New York: TAB Books.
- ASM Handbook. (1998). *ASM Handbook Casting Vol. 15*. ASM International.
- Beeley, P. (2001). *Foundry Technology*. Butterworth Heinemann.
- Budynas, R. G., & Nisbett, J. K. (2008). *Diseño en ingeniería mecánica de Shigley*. México D.F.: McGraw-Hill.
- Calderón Freire , M. C., & Flores Taris, J. E. (2017). *Diseño y fabricación de un pistón y una cámara de presión de bronce al aluminio para un prototipo de bomba reciprocante*. Quito: Escuela Politécnica Nacional.
- Campbell, J. (2003). *Castings*. Butterworth-Heinemann.
- Charco Zambrano, J. L. (2017). *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*. Quito: Escuela Politécnica Nacional.
- Enríquez Berciano, J. L., & Tremps Guerra, E. (2007). *Monografías sobre tecnología del acero. Parte II. Metalurgia Secundaria*.
- Garrido Meneses, A. R., & Sánchez Taco, V. H. (2011). *Determinación de la metodología para la obtención de aleaciones de aluminio de fundición maquinables sin porosidades*. Quito: Escuela Politécnica Nacional.
- Gasol. (s.f.). Obtenido de <https://www.gasol.com/pumps/gasol-t100-pump>
- Goyos, L. (s.f.). *Tecnología de la fundición*. La Habana: Ispajae.
- Groover, M. (1997). *Fundamentos de Manufactura Moderna* (Primera ed.). México: Prentice Hall.
- Guanuchi Suqui, B. A., & Moposita Tituaña, S. D. (2017). *Diseño y construcción de cigüeñal, bielas y tapas de rodamientos en fundición nodular de una bomba tríplice de émbolo*. Quito: Escuela Politécnica Nacional.

- Gudiño Yépez, A. G., & Vásquez Noboa, R. R. (2008). *Elaboración de un plan de mantenimiento para las bombas triplex de propiedad de BJ Services Ecuador*. Quito: Escuela Politécnica Nacional.
- Hufnagel, W. (1992). *Manual del Aluminio*.
- Jain, P. L. (2003). *Principles of Foundry Technology* (Cuarta ed.). New Delhi: McGraw-Hill.
- Malgorzata, W. (2004). *Aluminum - Silicon Casting Alloys, Atlas of Microfractographs*. United States of America: ASM International.
- McNaughton, K. (2010). *Bombas: Selección, uso y mantenimiento*. México D.F.: McGraw-Hill.
- NOSIS. (3 de Mayo de 2016). *Laboratorio de investigación y Desarrollo*. Obtenido de <http://trade.nosis.com/es/Comex/Importacion-Exportacion/Ecuador/Todas-las-posiciones-arancelarias/EC/00>
- O'Mahoney, D., & Browne, D. (1999). Use of experiment and an inverse method to study interface heat transfer during solidification in the investment casting process. *Experimental thermal and fluid science*, 111-122.
- Peinado, N. P. (2005). *Tecnología de los metales y procesos de manufactura*. Caracas: Andrés Bello.
- Posinasetti, N. R. (2013). *Manufacturing Technology: Foundry, Forming and Welding*.
- Rao, P. N. (2013). *Manufacturing technology: Foundry, Forming and Welding* (Cuarta ed., Vol. I). New Delhi: McGraw Hill.
- S, K., & R, S. S. (2002). *Manufactura, ingeniería y tecnología*. Pearson Education.
- Slideshare. (15 de Agosto de 2017). *Slideshare*. Obtenido de movement transformation mechanisms in spanish : <https://www.slideshare.net/RobertMato/movement-transformation-mechanisms/3?smtNoRedir=1>
- Titov, N., & Stepánov, Y. A. (1984). *Tecnología del proceso de fundición*. MIR.
- Totten, G. E. (2003). *Handbook of aluminium* (Vol. II).
- V, V., & Joshi, D. (s.f.). *Simulation of shrinkage defect-A review*.

- Viejo Zubicaray, M. (2000). *Bombas: Teoría, diseño y Aplicaciones*. México D.F.: Limusa S.A.
- Wang, W., Stoll, H. W., & Conley, J. G. (2010). *Rapid Tooling guidelines for sand casting*. New York: Springer.
- Woolley, J., Pohanka, M., & Woodbury, K. (2006). From experimentation to analysis - Considerations for determination of the metal/mold interfacial heat transfer coefficient via solution of the inverse heat conduction problem. *Proceedings of IMECE2006*, 1-7.

6. ANEXOS

6.1. Anexo 1. Propiedades aluminio A413.0

Composition overview

Compositional summary

Al83-89 / Si11-13 (impurities: Fe<1.3, Cu<1, Ni<0.5, Zn<0.5, Mn<0.35, Sn<0.15, Mg<0.1, Other<0.25)

Material family	Metal (non-ferrous)
Base material	Al (Aluminum)

Composition detail (metals, ceramics and glasses)

Al (aluminum)	* 82.8	- 89	%
Cu (copper)	0	- 1	%
Fe (iron)	0	- 1.3	%
Mg (magnesium)	0	- 0.1	%
Mn (manganese)	0	- 0.35	%
Ni (nickel)	0	- 0.5	%
Si (silicon)	11	- 13	%
Sn (tin)	0	- 0.15	%
Zn (zinc)	0	- 0.5	%
Other	0	- 0.25	%

Price

Price	* 2.3	- 2.54	USD/kg
-------	-------	--------	--------

Physical properties

Density	2.63e3	- 2.68e3	kg/m ³
---------	--------	----------	-------------------

Mechanical properties

Young's modulus	69.6	- 72.4	GPa
Yield strength (elastic limit)	105	- 116	MPa
Tensile strength	241	- 265	MPa
Elongation	3.5	- 4.2	% strain
Compressive strength	* 105	- 116	MPa
Flexural modulus	* 69.6	- 72.4	GPa
Flexural strength (modulus of rupture)	* 110	- 121	MPa
Shear modulus	* 26	- 27.4	GPa
Bulk modulus	* 65.2	- 74.5	GPa
Poisson's ratio	0.322	- 0.338	
Shape factor	38.9		
Hardness - Vickers	* 86	- 96.1	HV
Fatigue strength at 10 ⁷ cycles	117	- 143	MPa
Fatigue strength model (stress range)	77.6	- 94	MPa

[Parameters](#): Stress Ratio = 0, Number of Cycles = 10e8cycles



Impact & fracture properties

Fracture toughness * 24.1 - 28 MPa.m^{0.5}

Thermal properties

Melting point 572 - 584 °C
Maximum service temperature 150 - 170 °C
Minimum service temperature -273 °C
Thermal conductivity 149 - 161 W/m.°C
Specific heat capacity 944 - 982 J/kg.°C
Thermal expansion coefficient * 20 - 21 µstrain/°C
Latent heat of fusion * 384 - 393 kJ/kg

Electrical properties

Electrical resistivity 4.3 - 4.5 µohm.cm
Galvanic potential * -0.73 - -0.65 V

Optical properties

Transparency Opaque

Magnetic properties

Magnetic type Non-magnetic

Processing properties

Metal casting Excellent
Metal cold forming Unsuitable
Metal hot forming Unsuitable
Metal press forming Unsuitable
Metal deep drawing Unsuitable

Durability

Water (fresh) Excellent
Water (salt) Acceptable
Weak acids Excellent
Strong acids Excellent
Weak alkalis Acceptable
Strong alkalis Unacceptable
Organic solvents Excellent
Oxidation at 500C Unacceptable
UV radiation (sunlight) Excellent
Flammability Non-flammable

Primary production energy, CO2 and water

Embodied energy, primary production * 177 - 195 MJ/kg
CO2 footprint, primary production * 11.2 - 12.4 kg/kg
Water usage * 993 - 1.1e3 l/kg

6.2. Anexo 2. Dimensiones de arandelas metálicas

Tabla A-33

Dimensiones de arandelas métricas simples (todas las dimensiones están en milímetros)

Tamaño de la arandela*	DI mínimo	DE máximo	Espesor máximo	Tamaño de la arandela*	DI mínimo	DE máximo	Espesor máximo
1.6 N	1.95	4.00	0.70	10 N	10.85	20.00	2.30
1.6 R	1.95	5.00	0.70	10 R	10.85	28.00	2.80
1.6 W	1.95	6.00	0.90	10 W	10.85	39.00	3.50
2 N	2.50	5.00	0.90	12 N	13.30	25.40	2.80
2 R	2.50	6.00	0.90	12 R	13.30	34.00	3.50
2 W	2.50	8.00	0.90	12 W	13.30	44.00	3.50
2.5 N	3.00	6.00	0.90	14 N	15.25	28.00	2.80
2.5 R	3.00	8.00	0.90	14 R	15.25	39.00	3.50
2.5 W	3.00	10.00	1.20	14 W	15.25	50.00	4.00
3 N	3.50	7.00	0.90	16 N	17.25	32.00	3.50
3 R	3.50	10.00	1.20	16 R	17.25	44.00	4.00
3 W	3.50	12.00	1.40	16 W	17.25	56.00	4.60
3.5 N	4.00	9.00	1.20	20 N	21.80	39.00	4.00
3.5 R	4.00	10.00	1.40	20 R	21.80	50.00	4.60
3.5 W	4.00	15.00	1.75	20 W	21.80	66.00	5.10
4 N	4.70	10.00	1.20	24 N	25.60	44.00	4.60
4 R	4.70	12.00	1.40	24 R	25.60	56.00	5.10
4 W	4.70	16.00	2.30	24 W	25.60	72.00	5.60
5 N	5.50	11.00	1.40	30 N	32.40	56.00	5.10
5 R	5.50	15.00	1.75	30 R	32.40	72.00	5.60
5 W	5.50	20.00	2.30	30 W	32.40	90.00	6.40
6 N	6.65	13.00	1.75	36 N	38.30	66.00	5.60
6 R	6.65	18.80	1.75	36 R	38.30	90.00	6.40
6 W	6.65	25.40	2.30	36 W	38.30	110.00	8.50
8 N	8.90	18.80	2.30				
8 R	8.90	25.40	2.30				
8 W	8.90	32.00	2.80				

N — altura; R — altura; W — ancho.
*Igual que el tamaño del tornillo o perno.

Fuente: (Budynas & Nisbett, 2008)

6.3. Anexo 3. Análisis de Arena Permeabilidad



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
DEPARTAMENTO DE MATERIALES
LABORATORIO DE FUNDICIÓN



INFORME TÉCNICO

Solicitado por: Ing. Óscar Sotomayor

Tipo de Trabajo: Análisis de Arena Permeabilidad

Fecha: 19 de abril del 2017

Realizado por: Robert Jácome

Descripción:

1. ANTECEDENTES.

Se utiliza arena nueva y se mezcla con los diferentes porcentajes de bentonita, el porcentaje de humedad es másico para lo cual se hizo uso de la densidad del agua y se utilizó el dato de densidad de 1ml=1gr.

La bentonita se varió desde el 8% hasta el 16% en aumentos de 2%.

El peso de la arena fue de 1,5 kg.

2. IDENTIFICACIÓN DE LAS PROBETAS.

Para cada análisis de porcentaje de humedad se realizó 3 probetas las cuales fueron sometidas a un análisis de permeabilidad completo y parcial.

3. IDENTIFICACIÓN DEL EQUIPO

Este dispositivo está destinado exclusivamente a ensayar la permeabilidad de muestras de arena de fundición. El uso de otros materiales puede ser consultado al Servicio Técnico de Simpson Technologies Corporation.

El Perímetro Digital Absoluto (Modelo 42105) mide la Permeabilidad de las masas de arena porosa, tanto en compacta y suelta. La determinación absoluta de la permeabilidad se realiza midiendo el Tiempo requerido para que un volumen de aire específico a presión constante fluya a través del espécimen o cuerpo que se está probando.



Especificaciones	Perímetro Absoluto Digital (42105)
Longitud	260 mm (10,25 ")
Anchura	325 mm (12,8 ")
Altura	415 mm (16,3 ")
Peso	15 kg (33 libras)
Poder	100-240VAC 50/60 Hz, 1 amperio, puesta a tierra
Aire Comprimido	Aire filtrado sin aceite regulado entre 2,5 y 3,0 bar (35 psi a 45 psi). Regulado por presión y filtro suministrado

4. VALORES OBTENIDOS

8% de Bentonita								
	Probeta 1		Probeta 2		Probeta 3		Promedio	
	Completa	Parcial	Completa	Parcial	Completa	Parcial	Completa	Parcial
2%	146	153	160	149	147	147	151	150
3%	167	174	178	185	173	177	173	179
4%	162	180	175	171	162	168	166	173
5%	157	160	159	141	157	160	158	154
6%	143	160	150	143	158	155	150	153
8%	120	129	121	127	130	126	124	127
10%	103	93	106	107	103	97	104	99



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
DEPARTAMENTO DE MATERIALES
LABORATORIO DE FUNDICIÓN



10% de Bentonita								
	Probeta 1		Probeta 2		Probeta 3		Promedio	
	Completa	Parcial	Completa	Parcial	Completa	Parcial	Completa	Parcial
2%	253	384	267	362	256	344	259	363
3%	246	316	252	313	247	296	248	308
4%	285	373	270	394	288	393	281	387
5%	242	403	242	291	220	394	235	363
6%	193	223	182	243	203	251	193	239
8%	139	177	127	183	132	187	133	182
10%	87	126	95	109	100	102	94	112

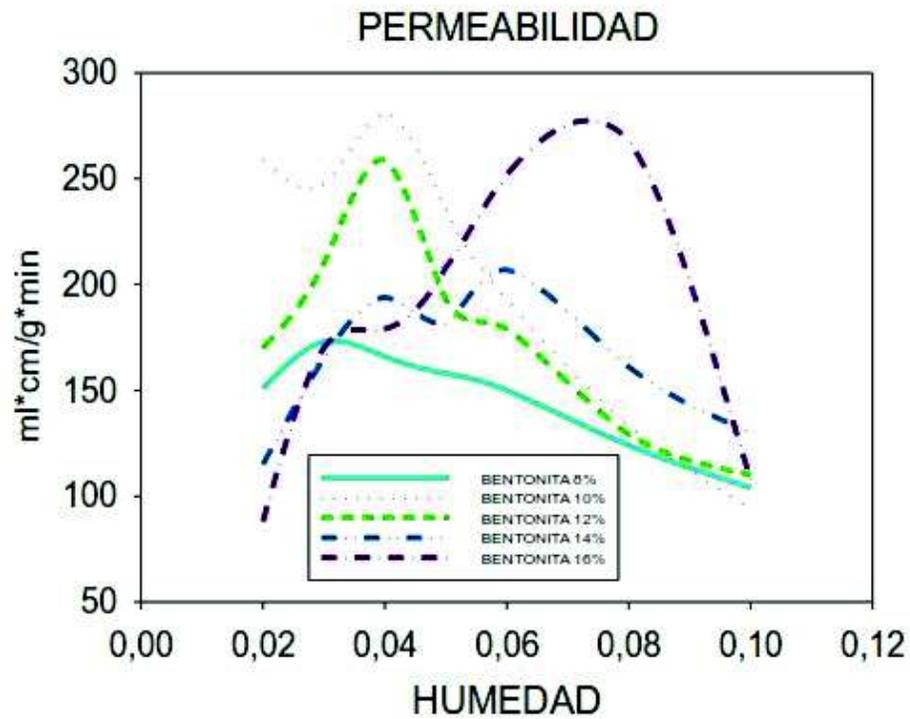
12% de Bentonita								
	Probeta 1		Probeta 2		Probeta 3		Promedio	
	Completa	tubo	Completa	tubo	Completa	tubo	Completa	tubo
2%	172	257	172	244	166	219	170	240
3%	197	227	205	252	229	273	210	251
4%	259	296	256	276	262	271	259	281
5%	193	228	194	216	193	211	193	218
6%	202	207	175	246	160	197	179	217
8%	138	186	119	193	130	203	129	194
10%	111	120	111	115	109	110	110	115

14% de Bentonita								
	Probeta 1		Probeta 2		Probeta 3		Promedio	
	Completa	Parcial	Completa	Parcial	Completa	Parcial	Completa	Parcial
2%	116	182	117	194	113	164	115	180
3%	175	213	150	207	170	215	165	212
4%	178	225	192	222	212	217	194	221
5%	174	200	191	204	181	290	182	231
6%	188	190	217	230	216	235	207	218
8%	165	162	164	170	153	160	161	164
10%	138	115	129	125	122	146	130	129



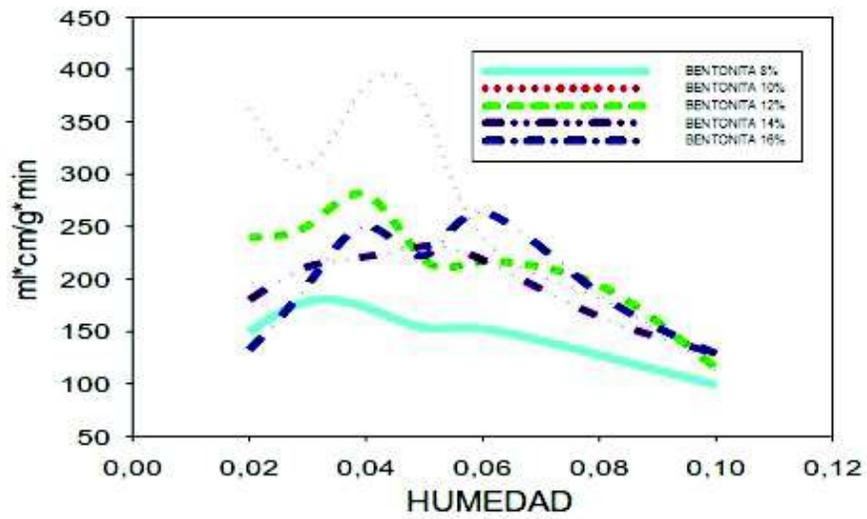
16% de Bentonita

	Probeta 1		Probeta 2		Probeta 3		Promedio	
	Completa	Parcial	Completa	Parcial	Completa	Parcial	Completa	Parcial
2%	86	132	94	131	85	134	88	132
3%	177	196	170	195	164	191	170	194
4%	178	255	173	236	186	263	179	251
5%	211	201	210	233	203	232	208	222
6%	253	289	259	261	244	242	252	264
8%	158	192	168	194	178	171	168	186
10%	108	123	118	128	99	135	108	129





PERMEABILIDAD PARCIAL



6.4. Anexo 4. Análisis de arena – Tracción



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

DEPARTAMENTO DE MATERIALES

LABORATORIO DE FUNDICIÓN



INFORME TÉCNICO

Solicitado por: Ing. Óscar Sotomayor

Tipo de Trabajo: Análisis de Arena Tracción

Fecha: 19 de abril del 2017

Realizado por: Romel Calahorrano

Descripción:

1. ANTECEDENTES.

Se utiliza arena nueva y se mezcla con los diferentes porcentajes de bentonita, el porcentaje de humedad es másico para lo cual se hizo uso de la densidad del agua y se utilizó el dato de densidad de 1ml=1gr.

La bentonita se varió desde el 8% hasta el 16% en aumentos de 2%.

El peso de la arena fue de 1,5 kg.

2. IDENTIFICACIÓN DE LAS PROBETAS.

Para cada análisis de porcentaje de humedad se realizó 3 probetas las cuales fueron sometidas a un análisis de tracción.

3. IDENTIFICACIÓN DEL EQUIPO

El probador de resistencia a la tracción en húmedo, modelo 42112, está diseñado para determinar con precisión la resistencia a la tracción de la zona de condensación en una arena de moldeo unida con arcilla o bentonita. El instrumento recrea el ambiente de colada utilizando un calentador para generar una zona de condensación en la arena de muestra. La resistencia a la tracción en húmedo se determina tirando de un anillo diseñado y un tubo del espécimen, con su anillo desmontable en posición en el tubo de muestra, este se carga con arena de moldeo y se compacta a una altura apropiada de la apisonadora de arena.



Especificaciones	Tester Wet Resistencia a la tracción (Modelo 42112)
Longitud	455 mm (17,9 pulg.)
Anchura	325 mm (12,7 pulg.)
Altura	480 mm (19 pulg.)
Peso	50 kg (110 libras)
Poder	110 / 220V; 50-60Hz
Aire Comprimido	Aire filtrado y regulado entre 3,5 y 4,5 bar (50 a 65 PSI).



4. VALORES OBTENIDOS

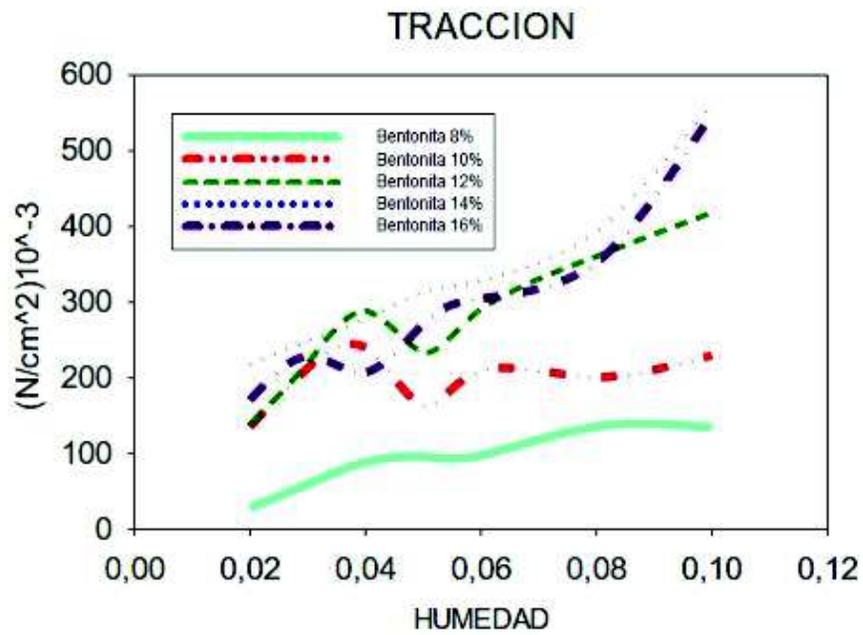
8% de Bentonita				
	Probeta 1	Probeta 2	Probeta 3	Tracción
2%	36	20	29	28,33
3%	54	60	65	59,67
4%	96	83	87	88,67
5%	99	100	90	96,33
6%	95	100	98	97,67
8%	140	133	135	136,00
10%	121	144	140	135,00

10% de Bentonita				
	Probeta 1	Probeta 2	Probeta 3	Tracción
2%	141	163	102	135,33
3%	205	204	230	213,00
4%	226	235	259	240,00
5%	181	147	161	163,00
6%	212	203	217	210,67
8%	215	190	197	200,67
10%	228	236	225	229,67

12% de Bentonita				
	Probeta 1	Probeta 2	Probeta 3	Tracción
2%	130	144	142	138,67
3%	197	229	232	219,33
4%	297	273	295	288,33
5%	244	227	230	233,67
6%	297	283	293	291,00
8%	352	358	371	360,33
10%	389	413	453	418,33

14% de Bentonita				
	Probeta 1	Probeta 2	Probeta 3	Tracción
2%	225	190	240	218,33
3%	251	255	244	250,00
4%	272	290	276	279,33
5%	314	304	321	313,00
6%	320	315	352	329,00
8%	389	402	392	394,33
10%	570	550	571	563,67

16% de Bentonita				
	Probeta 1	Probeta 2	Probeta 3	Tracción
2%	177	154	181	170,67
3%	210	230	246	228,67
4%	197	210	214	207,00
5%	263	268	282	271,00
6%	312	292	310	304,67
8%	347	370	340	352,33
10%	548	535	559	547,33



6.5. Anexo 5. Análisis de mezcla de arena con melaza



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
DEPARTAMENTO DE MATERIALES
LABORATORIO DE FUNDICIÓN



INFORME TÉCNICO

Solicitado por: Ing. Óscar Sotomayor

Tipo de Trabajo: Análisis de probetas de arena con melaza (Ensayo de Tracción)

Fecha: 17 de noviembre del 2017

Realizado por: Daniel Sebastián López Arboleda

Descripción:

1. ANTECEDENTES

Para la realización de este informe es necesario realizar probetas de arena para el ensayo a tracción. Se utilizó una mezcla de arena nueva, bentonita, agua, y melaza, en donde se varió el porcentaje de melaza y el tiempo de secado de las probetas para así verificar cual mezcla es la más óptima y tiene mejores propiedades a la tracción, de igual manera se observó cómo se comporta la resistencia a la tracción, dependiendo del tiempo de secado.

Para la realización de las probetas se utilizó dos moldes (uno de metal y otro de madera), cada uno de 12 probetas. El peso de cada mezcla para el molde fue de 1.5 kg. En relación el peso de la mezcla la cantidad de agua fue del 6%, el porcentaje de bentonita fue de 14% en cuanto a los porcentajes variables se presentan a continuación en la siguiente tabla. Además, se considera que el porcentaje de arena es el sobrante considerando los demás porcentajes

Tabla 1. Variación de melaza y tiempo de secado.

Porcentaje de Melaza	Tiempo de Secado (horas)	Número de Probetas Ensayadas
2%	2,3,12	12,12,12
3%	2,3,12	12,12,12
5%	2,3,12	12,12,12
8%	2,3,12	12,12,12

Adicionalmente se considera que al momento del secado se colocó los moldes al sol por aproximadamente 1 hora para luego continuar con el tiempo de secado bajo techo durante las horas restantes según el tiempo de secado, después del desmoldeo se colocó las probetas en el secador por 10 minutos y se esperó otros 10 minutos para proceder con el ensayo.



2. IDENTIFICACIÓN DE LAS PROBETAS

Se realizó las probetas en dos diferentes moldes y se utilizó 12 especímenes tanto para cada variación de melaza como para el tiempo de secado para así tener resultados mucho más aproximados a los reales. A continuación, tenemos los moldes utilizados.



Ilustración 1 Molde de Madera



Ilustración 2 Molde de Metal

3. IDENTIFICACIÓN DEL EQUIPO Y PROCEDIMIENTO



Ilustración 3 Equipo de Ensayos Universal

El laboratorio de fundición cuenta con una máquina de ensayos universal de marca DIETERT, en donde realizamos los ensayos de tracción. Para proceder con el ensayo se debe colocar el equipo de tracción (pines, mordazas) ajustar todo esto correctamente y proceder a realizar al ensayo.



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
DEPARTAMENTO DE MATERIALES
LABORATORIO DE FUNDICIÓN



Para la colocación de los pines y la mordaza es necesario seguir el siguiente procedimiento.

- a) Se ajusta el bracket corto al brazo de empuje usando el perno grande (brazo y péndulo en posición perpendicular)
- b) Se coloca el bracket grande por detrás del brazo de empuje y se lo ajusta al péndulo con el perno corto (brazo y péndulo en mitad del recorrido)
- c) Se retorna el brazo y el péndulo a la posición perpendicular y se verifica la correcta instalación de los pines
- d) Se coloca las mordazas en los pines superiores y alinear las mismas con un par de ejes delgados que se encuentran en las mismas.

Una vez armado todo el equipo de tracción se procede a realizar el ensayo siguiendo el siguiente procedimiento.

- a) Se abre las mordazas mediante los tornillos situados a cada lado, en total se le da 5 vueltas a cada perno para que así entre la probeta.
- b) Se coloca la probeta dentro de las mordazas
- c) Se vuelve a girar los pernos, el perno del lado del brazo de empuje se regresa a la posición inicial después de 5 vueltas, mientras que el otro perno ubicado en el lado del péndulo se va variando hasta conseguir una precarga de 3. (aproximadamente se da de 1 a 3 vueltas)
- d) Se ajusta los ejes de alineamiento de las mordazas
- e) Se enciende la máquina y se procede con el ensayo
- f) Se aplica una cara tal que el espécimen llegue a fracturarse y este valor se registra mediante un video.
- g) Se vuelve la máquina al estado inicial y se continúa así con los siguientes ensayos



4. RESULTADOS OBTENIDOS

- Tiempo de secado de 2 horas

Melaza 2%		Tiempo: 2 horas
Probeta	Valor	
1	5	
2	5	
3	5.5	
4	5.5	
5	5	
6	7	
7	5	
8	5	
9	5.5	
10	8	
11	5	
12	6	
	Promedio	5,7

Melaza 3%		Tiempo: 2 horas
Probeta	Valor	
1	14	
2	17	
3	11	
4	9	
5	9	
6	11	
7	13	
8	9	
9	12	
10	10	
11	8	
12	15	
	Promedio	11,5

Melaza 5%		Tiempo: 2 horas
Probeta	Valor	
1	12	
2	7	
3	7	
4	6	
5	8	
6	9	
7	11	
8	7	
9	9	
10	10	
11	8	
12	9	
	Promedio	8,6

Melaza 8%		Tiempo: 2 horas
Probeta	Valor	
1	7,5	
2	8	
3	7	
4	6	
5	6	
6	8	
7	7,5	
8	6,5	
9	6,5	
10	7	
11	8	
12	8	
	Promedio	7,2



• Tiempo de secado de 3 horas

Melaza 2%		Tiempo: 3 horas
Probeta	Valor	
1	9	
2	7	
3	6	
4	7	
5	6	
6	7	
7	6	
8	8	
9	6	
10	6	
11	5	
12	6	
	Promedio	6,6

Melaza 3%		Tiempo: 3 horas
Probeta	Valor	
1	8,5	
2	8	
3	8	
4	7	
5	7	
6	6	
7	8	
8	6	
9	8	
10	8	
11	8	
12	8	
	Promedio	7,5

Melaza 5%		Tiempo: 3 horas
Probeta	Valor	
1	5,5	
2	4,5	
3	4,5	
4	7	
5	4,5	
6	4,5	
7	4	
8	4	
9	5	
10	6	
11	4,5	
12	4,5	
	Promedio	4,9

Melaza 8%		Tiempo: 3 horas
Probeta	Valor	
1	4	
2	4	
3	4	
4	4	
5	4,5	
6	5	
7	5	
8	6	
9	6	
10	4	
11	4	
12	4,4	
	Promedio	4,6



• Tiempo de secado de 12 horas

Melaza 2%		Tiempo: 12 horas
Probeta	Valor	
1	5	
2	5	
3	4.5	
4	6	
5	5.5	
6	5	
7	7	
8	5.5	
9	8	
10	6	
11	5	
12	7	
	Promedio	6,0

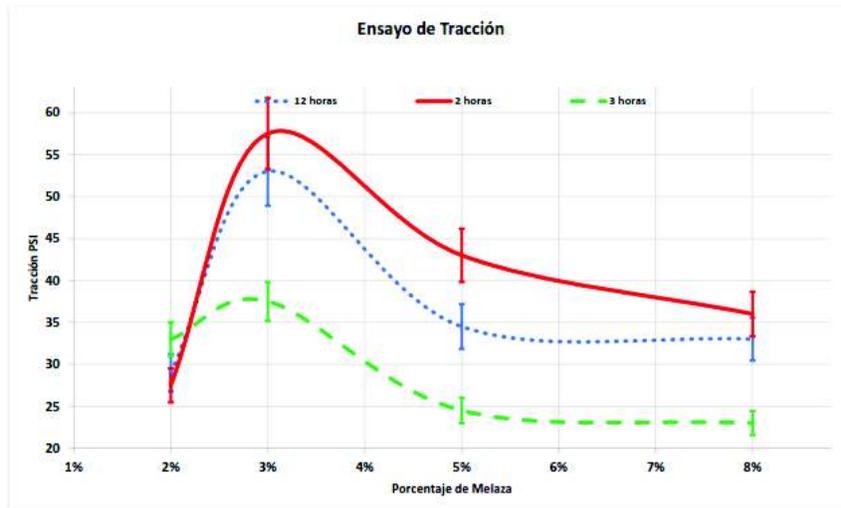
Melaza 3%		Tiempo: 12 horas
Probeta	Valor	
1	10	
2	10	
3	12	
4	11	
5	7	
6	12	
7	11	
8	8	
9	10	
10	13	
11	14	
12	9	
	Promedio	10,6

Melaza 5%		Tiempo: 12 horas
Probeta	Valor	
1	5	
2	5	
3	6	
4	6.5	
5	6	
6	12	
7	8	
8	7	
9	7	
10	6	
11	8	
12	6	
	Promedio	6,9

Melaza 8%		Tiempo: 12 horas
Probeta	Valor	
1	5	
2	7	
3	6	
4	7	
5	7	
6	6	
7	5	
8	6	
9	7	
10	8	
11	6	
12	9	
	Promedio	6,6



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
DEPARTAMENTO DE MATERIALES
LABORATORIO DE FUNDICIÓN



6.6. Anexo 6. ALU FUNDEX

INDUSTRIAL JUVAL LTDA.

Alu Fundex Extra : 1 Kg x 25 x 50 4,36 USD

FICHA TÉCNICA	CÓDIGO FT 1235	FECHA VIGENCIA 31/01/2012
	VERSIÓN 2	Página 1 de 1

Nombre : **ALU FUNDEX EXTRA**
 Código : 1235
 Descripción General : Fundente escorificante para todas las aleaciones de Aluminio.
 Excelente para la recuperación de escorias y virutas.

PROPIEDADES

Presentación :
 Peso específico :
 Color :
 Olor :
 Empaque :
 Almacenamiento :
 Precaución de uso :

ESPECIFICACIÓN

Polvo
 1.28-1.42
 Rosado
 Penetrante
 Saco de polipropileno, con bolsa interior de polietileno x 25 o 50 kilos.
 Lugar seco bajo techo. Reparar bolsas y sacos rotos inmediatamente. Colocar máximo 10 sacos o 3 pallets en vertical.
 Usar guantes PVC, gafas protectoras y máscara para polvos.

N/A: No Aplica
 N/C: No Conocido

ELABORÓ	REVISÓ	APROBÓ
<small>(Firma)</small>	<small>(Firma)</small>	<small>(Firma)</small>
NOMBRE : Alvaro Romero Osorio CARGO : Ing. División Fundición. FECHA : 27/01/2012	NOMBRE : Maria T. Gómez R. CARGO : Jefe de Producción FECHA : 27/01/2012	NOMBRE : Hernando Bueno Azuero CARGO : Gerente FECHA : 27/01/2012

CRA 53 F N° 5 C - 16 PBX: 4203188 FAX: 2907337
 E-mail: juvalcol@juval.com <http://www.juval.com>
 Bogotá D.C. - Colombia

INDUSTRIAL JUVAL LTDA.

e-mail: juvCNoI@juval.com

http://www.juval.com

ALU FUNDEX E

ALU FUNDEX son una serie de fundentes que protegen, cubren y limpian las aleaciones de aluminio durante la fusión. Estos productos forman una capa protectora sobre el metal fundido, la cual reduce la oxidación y minimiza la absorción de hidrógeno.

VENTAJAS QUE SE OBTIENEN CON EL USO DE ALU FUNDEX:

- ✓ Reducción de la oxidación y las pérdidas de aluminio con un consiguiente incremento de la fluidez.
- ✓ Absorción de materias no metálicas o inclusiones es otro de los problemas que resuelve el ALU FUNDEX, con la consiguiente mejora en las propiedades mecánicas.
- ✓ Formación de una capa protectora que conlleva a una menor facilidad de absorción de gases.
- ✓ Reducción del contenido metálico en las escorias, por lo tanto mayor rendimiento de fusión.
- ✓ Seguridad. Actuación siempre idéntica. Suministro del fundente libre de humedad.

ALU FUNDEX E:

Fundente escorificante de alta eficiencia, aplicado en la fundición de aluminio en crisol u horno de reverbero. Aplicación del 0,3-0,5% en peso con respecto a la carga dependiendo del tipo de material a fundir. Tiene excelente recuperación de metal en hornos tipo reverbero.

METODO DE APLICACIÓN DEL ALU FUNDEX E

$$\begin{array}{l} 100\% \text{ — } 50 \text{ kg} \\ \rightarrow 0,5\% \text{ — } X = 0,25 \frac{\text{kg}}{100} = 250 \text{ g} \end{array}$$

1. Calentar el crisol vacío. Luego el lingote y/o chatarra y añadir 250 gramos de ALU-FUNDEX E, por cada 50 kg. de carga.

El ALU FUNDEX E, protege la carga durante la fusión, reduce la oxidación y la absorción de gases.

Debido a la disminución de óxidos, el aluminio tiene mayor colabilidad.

CARRERA 33F No. 50-15 PBX 420 3168 FAX 200 7337 APARTADO AEREO (P.O. BOX) 1716
BOGOTÁ, D.C. COLOMBIA



INDUSTRIAL JUVAL LTDA.

e-mail: juvCNoI@juval.com

<http://www.juval.com>

ALU FUNDEX E

2. Cuando la temperatura alcance los 700°C, apagar el fuego o sacar el crisol del horno. El calor residual elevará la temperatura de la carga hasta unos 750°C.

3. Espolvorear sobre la superficie 250 gr. de ALU FUNDEX E, por cada 50 kg. de carga y dejar reposar un minuto.

El ALU FUNDEX E, produce una reacción exotérmica con la escoria, con lo cual se logra que el metal retenido por la escoria se desprenda y regrese al baño.

4. Poner en íntimo contacto el fundente con la escoria mediante agitación apropiada

5. Con una cuchara perforada retirar la escoria ya libre de metal y proceder a la colada.

Las temperaturas adecuadas de colada son:

750°C	para piezas livianas de espesor inferior a 10 mm.
710°C	para piezas de espesor entre 10 y 35 mm.
690°C	para piezas de espesor superior a 35 mm.

Debe evitarse la excesiva temperatura, de lo contrario aumentar la absorción de gas y las pérdidas por oxidación.

METODO DE APLICACIÓN DEL ALU FUNDEX E EN HORNO REVERBERO:

1. Una vez terminada la colada y alcanzada la temperatura de vaciado, adicionar sobre la superficie de metal ALU FUNDEX E en bolsas pequeñas procurando distribuir el material homogéneamente sobre el baño. Si se dispone de una pistola de inyección de fundente, este producto puede ser introducido por este medio.
2. Agitar enérgicamente el baño para llevar las inclusiones a la superficie y poner el ALU-FUNDEX E en íntimo contacto con la escoria y metal.

CARRERA 537 N.º 50-16 PBX 499 3189 FAX 280 7337 APARTADO AEREO (P.O. BOX) 1716
BOGOTÁ, D.C. - COLOMBIA



Certificado C.005-1679

INDUSTRIAL JUVAL LTDA.

e-mail: juvCNoI@juval.com

<http://www.juval.com>

ALU FUNDEXE

3. Retirar la escoria con la rastra y observar la consistencia de la escoria. Si presenta todavía mucho aluminio metálico atrapado, deberá ajustarse la cantidad hasta encontrar el punto ideal de aplicación. La adición de ALU FUNDEX E se puede situar entre 0,3 a 0,5% en peso. En hornos de gran tamaño la adición es menor situándose en 0.1 - 0.3%.

CARRERA 33F No. 50-16 PBX 420 3158 FAX 290 7337 APARTADO AEREO (P.O. BOX) 1716
BOGOTÁ, D.C. - COLOMBIA



6.7. Anexo 7. APARTAGAS

INDUSTRIAL JUVAL LTDA.

Apertugas H7-250: 1kg en caja 11,76 USD a usar en purificación de Pastilla de 25gr

FICHA TÉCNICA	CÓDIGO	FECHA VIGENCIA
	FT 1261	31/01/2012
	VERSIÓN 2	Página 1 de 1

Nombre : **APARTAGAS H7-250**
 Código : 1261
 Descripción General : Desgasificante para Aluminio y Magnesio, en hornos de crisol o reverbero pequeños y medianos.

PROPIEDADES

Presentación :
 Peso Pastilla :
 Color :
 Olor :
 Empaque :
 Almacenamiento :

ESPECIFICACIÓN

Pastilla
 250 grs.
 Azul
 Penetrante
 Caja de cartón: x 36 kg.
 Lugar seco bajo techo. Máximo tres cajas en vertical.
 Máximo dos pallets en vertical.
 Usar guantes PVC, gafas protectoras y máscara para polvos

N/A: No Aplica
 N/C: No Conocido

ELABORÓ	REVISÓ	APROBÓ
(Firma)	(Firma)	(Firma)
NOMBRE: Alvaro Romero Osorio CARGO : Ing. División Fundición FECHA : 27/01/2012	NOMBRE: María T. Gómez R. CARGO : Jefe de Producción FECHA : 27/01/2012	NOMBRE: Hernando Bueno Azuero CARGO : Gerente FECHA : 27/01/2012

pág. 1

CRA 53 F N° 5 C - 16 PBX: 4203188 FAX: 2907337
 E-mail: juvalcol@juval.com <http://www.juval.com>
 Bogotá D.C. - Colombia

Hernando Bueno Azuero

INDUSTRIAL JUVAL LTDA.

FICHA TÉCNICA	CÓDIGO FT 1261	FECHA VIGENCIA 31/01/2012
	VERSIÓN 2	Página 1 de 1

Nombre : **APARTAGAS H7-250**
 Código : 1261
 Descripción General : Desgasificante para Aluminio y Magnesio, en hornos de crisol o reverbero pequeños y medianos.

PROPIEDADES

Presentación : Pastilla
 Peso Pastilla : 250 grs.
 Color : Azul
 Olor : Penetrante
 Empaque : Caja de cartón x 36 kg.
 Almacenamiento : Lugar seco bajo techo. Máximo tres cajas en vertical.
 Máximo dos pallets en vertical.
 Precaución de uso : Usar guantes PVC, gafas protectoras y máscara para polvos.

ESPECIFICACIÓN

N/A: No Aplica
 N/C: No Conocido

ELABORÓ	REVISÓ	APROBÓ
(Firma)	(Firma)	(Firma)
NOMBRE: Alvaro Romero Osorio CARGO : Ing. División Fundición. FECHA : 27/01/2012	NOMBRE: María T. Gómez R. CARGO : Jefe de Producción. FECHA : 27/01/2012	NOMBRE: Hernando Bueno Azuero CARGO : Gerente FECHA : 27/01/2012

pág. 1

CRA 53 F N° 5 C - 16 PBX: 4203188 FAX: 2907337
 E-mail: juvalcol@juval.com <http://www.juval.com>
 Bogotá D.C. - Colombia

INDUSTRIAL JUVAL LTDA.

FICHA TÉCNICA	CÓDIGO FT 1260	FECHA VIGENCIA 31/01/2012
	VERSIÓN 2	Página 1 de 1

Nombre : **APARTAGAS H7 - 50**
 Código : 1260
 Descripción General : Desgasificante para Aluminio y Magnesio, en hornos de crisol pequeños.

PROPIEDADES

Presentación :
 Peso Pastilla :
 Color :
 Olor :
 Empaque :
 Almacenamiento :
 Precaución de uso :

ESPECIFICACIÓN

Pastilla
 50 grs.
 Azul
 Penetrante
 Caja de cartón x 36 kg.
 Lugar seco bajo techo. Máximo tres cajas en vertical.
 Máximo dos pallets en vertical.
 Usar guantes PVC, gafas protectoras y máscara para polvos.

N/A: No Aplica
 N/C: No Conocido

ELABORÓ	REVISÓ	APROBÓ
<small>Elaboró</small>	<small>Revisó</small>	<small>Aprobó</small>
NOMBRE : Alvaro Romero Osorio CARGO : Ing. División Fundición. FECHA : 27/01/2012	NOMBRE : María T. Gómez R. CARGO : Jefe de Producción FECHA : 27/01/2012	NOMBRE : Hernando Bueno Azuero CARGO : Gerente FECHA : 27/01/2012

CRA 53 F N° 5 C - 16 PBX: 4203188 FAX: 2907337
 E-mail: juvalcol@juval.com <http://www.juval.com>
 Bogotá D.C. - Colombia

INDUSTRIAL JUVAL LTDA.

e-mail: juvalcoi@juval.com
<http://www.juval.com>



APARTAGAS

APARTAGAS es un rápido y efectivo desgasificante para aluminio y sus aleaciones, evitando así la porosidad en la pieza fundida.

CAUSA Y EFECTO DE LA POROSIDAD GASEOSA

La porosidad que se presenta en las piezas coladas y conocida con el nombre de "picado de aguja", es siempre debida a hidrogeno disuelto en el metal fundido, cuyo gas es expulsado en pequeñas burbujas a través de la pieza mientras esta se solidifica. La presencia de hidrogeno se debe en primer lugar a condiciones defectuosas del horno, herramientas húmedas, chatarra oxidada y prolongado mantenimiento del metal a excesiva temperatura. Piezas de aluminio porosas, significan piezas rechazables, con baja resistencia mecánica, ausencia de compacidad y mal acabado superficial.

DESGASIFICACION:

Con el objeto de eliminar la porosidad, se ha desarrollado el APARTAGAS que proporciona una rápida y cómoda desgasificación, del baño, a la vez que es más efectiva que cualquier otro tipo de desgasificación, por las siguientes razones:

- Se sumerge en el baño.
- No requiere destreza en su manejo.
- No necesita equipo complicado ni costoso.
- No es tóxico.
- Es extraordinariamente eficaz, dada la descomposición de sus moléculas, ya que se producen elementos en estado activo que reaccionan químicamente con el hidrógeno.
- Refina el grano.
- No ofrece peligro ni para el operario ni para el metal.

TIPOS DE APARTAGAS

- **APARTAGAS H7:**
Enérgico desgasificante con reacción rápida, para hornos de crisol y de reverbero pequeños.
Empaque:
Caja x 760 unid. (Pastilla x 50 grs).
Caja x 36 kls (Pastilla x 1 kl)
- **APARTAGAS H4:**
Desgasificante de acción controlada especialmente diseñado para hornos de reverbero grandes. Su reacción toma aproximadamente 10 minutos.
Empaque:
Caja de cartón x 36 kls.

CARRERA 53A No. 9-20 - PBX 4203188 - FAX 2907337 - APARTADO AEREO (P.O. BOX) 1716
BOGOTÁ, D.C. - COLOMBIA

INDUSTRIAL JUVAL LTDA.

e-mail: jvalcol@juval.com

<http://www.juval.com>



APARTAGAS

PRESENTACIÓN DEL PRODUCTO:

APARTAGAS se presenta en dos formas -Pastillas y Polvo-, ambos tienen la misma finalidad y efecto. Las pastillas vienen en un tamaño de 50, 200, 500 y 1000 gramos.

CANTIDADES RECOMENDADAS:

Para coladas a base de lingotes se recomienda el 0.15 % de APARTAGAS con respecto al metal. Si las coladas son hechas a base de desperdicios o chatarras, se deberá utilizar un 0.25%.

MODO DE EMPLEO

APLICACION EN HORNO DE CRISOL:

Cuando la temperatura alcance 700°C, apagar el quemador o sacar el crisol del horno. El calor residual eleva la temperatura de la carga hasta unos 750°C. Debe evitarse la excesiva temperatura, de lo contrario aumenta la absorción de gas y las pérdidas por oxidación.

Cuando la temperatura comienza a descender, se sumergen por medio de una campana perforada, las tabletas o el polvo necesario para desgasificar el metal fundido. Manténgase la campana en el fondo del crisol hasta que cese el desprendimiento de burbujas. La eficacia del APARTAGAS radica en su suave y prolongado desprendimiento de pequeñas burbujas sin verter el metal fuera del crisol.

Se hace énfasis en que la desgasificación debe hacerse con una temperatura descendente. Si la temperatura aún está subiendo, la desgasificación no va a ser igual de efectiva.

APLICACION EN HORNO REVERBERO:

De acuerdo al tamaño del horno, calcular la cantidad a adicionar y hacer dos aplicaciones, cada una con la mitad del total de APARTAGAS a emplear. Las pastillas se deben sumergir al fondo mediante una bandeja invertida perforada, para que permita la salida de gases en la medida en que se van generando. Una vez sumergida la bandeja, ésta debe ser movida por todas las zonas del horno.

APLICACION EN HORNO DE INDUCCION:

La aplicación es igual a la del horno de crisol.

NOTA: Pinte todas las herramientas con la pintura de protección INJEMAQ AL 397, 1kg cada 14,42,050

6.8. Anexo 8. Ficha de identificación - Argón

INDURA Grupo AIR PRODUCTS		HOJA DE DATOS DE SEGURIDAD DE MATERIALES (MSDS)		
Edición:	Revisión:			
HDS-Ar-03	07 / 2016			
NOMBRE DEL PRODUCTO:		ARGÓN COMPRIMIDO		
1. PRODUCTO QUÍMICO E IDENTIFICACIÓN DE LA COMPAÑÍA				
Fabricante:	INDURA ECUADOR S.A. Km 14 ½ Vía a Daule Guayaquil, Ecuador			
Número de teléfono:	(593-4) 2597-610			
Nombre del producto:	Argón			
Formula química:	Ar			
Nombre químico:	Argón			
Nombres comunes /sinónimos:	Argón comprimido			
Clasificación NU:	2.2			
Usos: Gas de protector para soldadura de aluminio y titanio en procesos MIG y TIG; soldadura, corte por arco de plasma; soldadura, corte en ambiente inerte; fabricación de lámparas incandescente y fluorescentes. Como gas protector para evitar efectos oxidantes en fabricación de acero. La adición de Argón reduce pérdidas de cromo sin alterar el contenido carbono.				
2. COMPOSICIÓN, INFORMACIÓN SOBRE LOS INGREDIENTES				
INGREDIENTE	FORMULA:	CAS	RTECS #:	% MOLAR
Argón	Ar	7440-37-1	CF2300000	99.9995%
3. IDENTIFICACIÓN DE PELIGROS				
Resumen de emergencias: El Argón es un gas inerte, incoloro, que no tiene olor. El peligro primordial a la salud asociado con escapes de este gas es asfixia por desplazamiento del Oxígeno del aire.				
Asfixiante Simple - Este producto no contiene oxígeno y puede causar asfixia si se libera en un área confinada. Mantenga los niveles de oxígeno sobre 19.5%. No				
Sistema de Calidad de INDURA			Pág. 1 de 8	

inflamable. El Argón no es tóxico pero puede causar asfixia al desplazar el oxígeno del aire.

Ruta de entrada:

Contacto con la Piel	Absorción por la Piel	Contacto con los Ojos	Inhalación	Ingestión
Si	No	Si	Si	No

Efectos sobre la salud

Limites de Exposición No	Irritante: No	Sensibilización No
Teratógeno No	Peligro Reproductivo No	Mutágeno No
Efectos Sinérgicos: Ninguno Reportado		
Carcinogenicidad: -NTP: No IACR: No OSHA: No		

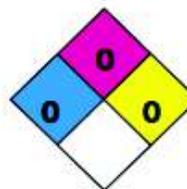
Efectos en los ojos: No se anticipan efectos adversos.

Efectos sobre la piel: No se anticipan efectos adversos.

Efectos de ingestión: No se anticipan efectos adversos.

Efecto de inhalación: El producto es un asfixiante simple, no tóxico. Los efectos de deficiencia de oxígeno resultante de asfixiantes simples pueden incluir: respiración rápida, agudeza mental disminuida, coordinación muscular afectada, fallas de juicio, depresión de todas las sensaciones, inestabilidad emocional y fatiga. A medida que la asfixia progresa, pueden resultar náusea, vómitos, postración, y pérdida de la conciencia, llevando eventualmente a convulsiones, coma, y muerte.

CODIGOS DE PELIGRO NFPA	SISTEMA DE EVALUACION
	0 = Sin Peligro
Salud: 0	1 = Peligro Leve
Inflamabilidad: 0	2 = Peligro Moderado
Reactividad: 0	3 = Peligro Serio
	4 = Peligro Severo



4. MEDIDAS DE PRIMEROS AUXILIOS

Ojos: Nunca introducir unguento o aceite en los ojos sin consultar a un médico. Si hay dolor presente, referir la víctima a un oftalmólogo para tratamiento y seguimiento.

Piel: Ninguna anticipada.

Ingestión: La ingestión es poco probable, ya que el producto es un gas a la temperatura ambiente.

Inhalación: La pronta atención médica es obligatoria en todos los casos de sobreexposición al argón. El personal de rescate debería estar equipado con equipo de respiración autónoma (E.R.A.). Las víctimas deberían ser removidas a un área no contaminada e inhalar aire fresco. La rápida remoción del área contaminada es de la mayor importancia.

Las personas inconscientes deberían ser removidas a un área no contaminada, y si la respiración se ha detenido, debe dárseles resucitación artificial y oxígeno suplementario. Tratamiento adicional debería ser sintomático y de apoyo.

5. MEDIDAS CONTRA INCENDIOS

Condiciones de Inflamabilidad: No Inflamable		
Punto de Inflamación: Ninguno	Método: No Aplicable	Auto-ignición Temperatura: Ninguno
LEL (%): Ninguno	UEL (%): Ninguno	
Productos de Combustión Peligrosos: Ninguno		
Sensibilidad de Impacto Mecánico: Ninguno		
Sensibilidad a Descarga: Ninguna		

Peligros de explosión e incendios: Ninguno. No inflamable.

Medios de extinción: Ninguno requerido. Use lo que sea adecuado para los materiales circundantes.

6. MEDIDAS POR LIBERACIÓN ACCIDENTAL

En caso de escape evacuar a todo el personal de la zona afectada (hacia un lugar contrario a la dirección del viento). Aislar un área de 25 a 50 metros a la redonda. Si es posible y si no hay riesgo, localizar y sellar la fuente del escape antes de entrar al área. Permitir que el gas se disipe. Monitorear los alrededores para el nivel de oxígeno. La atmósfera debe tener por lo menos 19.5 % de oxígeno antes el paso de personal al área afectada.

7. MANEJO Y ALMACENAMIENTO

Esta mezcla de gas no es corrosiva y puede usarse con todos los materiales de estructuras comunes.

Use sólo en áreas bien ventiladas. Las tapas de protección de válvulas deben permanecer en su lugar, a menos que el contenedor esté asegurado con una salida de válvula con cañerías al punto de uso.

Antes del Uso: Mover los cilindros utilizando un carro porta cilindros o montacargas. No hacerlos rodar ni arrastrarlos en posición horizontal. Evitar que se caigan o golpeen violentamente uno contra otro o con otras superficies. No se deben transportar en espacios cerrados como, por ejemplo, el baúl de un automóvil, camioneta o van. Para descargarlos, usar un rodillo de caucho.

Durante su Uso: No caliente el cilindro por ningún medio para aumentar la velocidad de descarga del producto desde el cilindro. Use un regulador de reducción de presión al conectar un cilindro a cañerías o sistemas de baja presión (<3000 psig). Use una válvula anti-retroceso en la línea de descarga para impedir retroflujo peligroso en el sistema.

Precauciones a tomarse en el almacenamiento de cilindros

Proteja los cilindros del daño físico. Almacénelos en un área fría, seca, bien ventilada, de construcción no combustible, lejos de las áreas con gran tráfico y de las salidas de emergencia. No permita que la temperatura donde se encuentren

almacenados los cilindros exceda los 52 °C, ni tampoco que entre en contacto con un sistema energizado eléctricamente. Señalizar el área con letreros que indiquen "PROHIBIDO EL PASO A PERSONAL NO AUTORIZADO", "NO FUMAR" y con avisos donde se muestre el tipo de peligro representado por el producto. El almacén debe contar con un sistema extintor de fuego apropiado (por ejemplo, sistema de riego, extinguidores portátiles, etc.). Los cilindros no deben colocarse en sitios donde hagan parte de un circuito eléctrico. Cuando los cilindros de gas se utilicen en conjunto con soldadura eléctrica no deben estar puestos a tierra ni tampoco se deben utilizar para conexiones a tierra; esto evita que el cilindro sea quemado por un arco eléctrico, afectando sus propiedades físicas o mecánicas.

Los cilindros deberían almacenarse hacia arriba y asegurados firmemente, para impedir que caigan o sean golpeados. Use el sistema de inventario de "primero que entra - primero que sale" para impedir que los cilindros completos sean almacenados por excesivos períodos de tiempo.

8. CONTROLES DE EXPOSICIÓN, PROTECCIÓN PERSONAL

Límites de exposición:

INGREDIENTE	% VOLUMEN	PEL-OSHA	TLV-ACGIH	LD ₅₀ o LC ₅₀ Ruta/Especie
Argón FORMULA: Ar CAS: 7440-37-1 RTECS #: CF2300000	100.0	Asfixiante Simple	Asfixiante Simple	No Disponible

Controles de ingeniería: Utilizar sistemas de detección de gases diseñados de acuerdo con las necesidades. Se sugiere seleccionar una escala que permita mantener el nivel de oxígeno por encima de 19.5%.

Protección a los ojos/facial: Gafas o anteojos de seguridad, como sea apropiado para el trabajo.

Protección a la piel: Guantes protectores de material apropiado para el trabajo.

Protección respiratoria: Línea de aire de presión positiva con máscara facial completa y botella de escape o aparato respiratorio independiente, deberían estar disponibles para uso de emergencia.

Protección general / otra: Zapatos de seguridad u otro calzado apropiado para el trabajo.

9. PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS

PARAMETRO	Valores
Estado Físico	Gas
Presión de Vapor a 1 atm	No Disponible
Densidad del Vapor	1.761 Kg/m ³
Peso específico (aire = 1) a 0°C (32°F) :	1.38
Peso específico del líquido a -80°C (-112°F):	1.39
Punto de Evaporación	No Disponible
Punto de Ebullición	302.6 °F / 189.9 °C
Punto de Congelamiento	308.9 °F / 189.4 °C
pH	No Aplicable
Volumen específico del gas a 21.1°C (70°F) 1 atm:	0,606 m ³ /kg (9.71 ft ³ /lb)
Peso Específico	No Disponible
Peso molecular:	39.95
Coefficiente de Partición Aceite/Agua	No Disponible
Solubilidad	Insignificante
Umbral de Olor	No Aplicable
Olor y Apariencia	Gas Incoloro e Inodoro

10. ESTABILIDAD Y REACTIVIDAD

Estabilidad: El argón es inerte estable.

Materiales incompatibles: Ninguno

Polimerización peligrosa: No ocurre.

11. INFORMACIÓN TOXICOLÓGICA

Concentración

12-16% Argón

10-14% Argón

6-10% Argón

Abajo 6% Argón

Síntomas de exposición

Respiración y grados del pulso aumenta, coordinación muscular es ligeramente alterada.

Desajuste emocional, fatiga anormal, respiración perturbada.

Nausea y vómito, colapso o pérdida de conocimiento.

Movimientos convulsivos, colapso de la respiración es posible y muerte.

Efectos por inhalación a corto plazo: Ratas machos fueron expuestas por 6 días a 20% de oxígeno y 80% de argón a 1 atmósfera y temperatura ambiental. No hubo ningún cambio significativo en el conteo de células rojas o médula espinal.

Capacidad irritante del material: Producto no irritante.

Sensibilidad a materiales: El producto no causa sensibilidad en humanos.

12. INFORMACIÓN ECOLÓGICA

No se espera ningún efecto ecológico. El argón no contiene ningún químico Clase I o Clase II que reduzca el ozono. No se anticipa ningún efecto en la vida de las plantas, a excepción de la escarcha producida en la presencia de gases expandiéndose velozmente.

El argón no causa daño a la vida acuática.

El argón no ha sido identificado como contaminante marino por el DOT.

13. CONSIDERACIONES DE DISPOSICIÓN

Regresar los cilindros vacíos al fabricante para que éste se encargue de su disposición final, de acuerdo a lo establecido por la normatividad ambiental.

14. INFORMACIÓN DE TRANSPORTE

Número de Naciones Unidas: UN 1006
Clase de peligro D.O.T: 2.2
Rotulo y etiqueta D.O.T: GAS NO INFLAMABLE

NO TOXICO

El argón se transporta en cilindros color gris-azul (color Pantón 429U).

Información especial de embarque: Los cilindros se deben transportar en una posición segura en un vehículo bien ventilado. El transporte de cilindros de gas comprimido en automóviles o en vehículos cerrados presenta serios riesgos de seguridad y debe ser descartado.



15. INFORMACIÓN REGULADORA

Elaborada de acuerdo con los requerimientos establecidos por la Norma Técnica Ecuatoriana INEN 2266:2010 Transporte, Almacenamiento y Manejo de Productos Químicos peligrosos. Requisitos – Requisitos del Instituto Ecuatoriano de Normalización.

16. OTRA INFORMACIÓN

Los cilindros de gas comprimido no deberían ser rellenados sin el permiso expreso, por escrito del dueño. El envío de un cilindro de gas comprimido que no haya sido llenado por su dueño o con su consentimiento (escrito) es una violación de las regulaciones de transporte.

Los datos consignados en esta Hoja informativa fueron obtenidos de fuentes confiables. Sin embargo, se entregan sin garantía expresa o implícita respecto de su exactitud o corrección. Las opiniones expresadas en este formulario son las de profesionales capacitados. La información que se entrega en él es la conocida actualmente sobre la materia.

Considerando que el uso de esta información y de los productos está fuera del control del proveedor, la empresa no asume responsabilidad alguna por este concepto. Determinar las condiciones de uso seguro del producto es obligación del usuario.

6.9. Anexo 9. Ficha técnica – Equipo espectrometría de chispa



Q2 ION Ultra-Compact Spark-OES Metals Analyzer



Bruker Elemental's all new spark spectrometer Q2 ION elevates metal analysis into new levels of simplicity and ease-of-use. Today Q2 ION is the smallest and lightest ultra-compact spark emission spectrometer for metals analysis available. It is a versatile multi-matrix system for comprehensive incoming material inspection and quality assurance of metal alloys. Its affordable price and low operational costs make it the ideal tool for smaller and medium-size businesses.

Q2 ION covers all major alloying elements in many applications such as Ferrous alloys, Aluminium, Coppers, and many more. It ideally addresses the requirements of small and mid-size foundries, metal processing industries, fabricators, quality control departments, warehouses, metal recyclers, and even inspection companies.

Q2 ION - New Standard in compact Metals Analyzer

It's design makes Q2 ION ultra light (less than 44lbs/20 kg) so it can easily be handcarried even to a nearby site for analysis. An optional case is also available. Despite its low weight, it is suitable for applications in which ruggedness is required. Q2 ION also defines new standards in ease-of-use. Place your sample onto the spark stand and press the start button. In less than thirty seconds you get the complete elemental composition of your metal.

Q2 ION - Patented Optical System

The new patented Flat Field CCD optics is a masterpiece of optics design and mechanical engineering. Active Ambient Compensation (AAC) provides maximum stability in a temperature range between 10 and 45 °C (50 and 113 °F). The highdefinition CCD detector together with well-proven ClearSpectrum® technology provide best-in-class analytical performance.

Technical Data Q2 ION

Patented Optical System

- Un-coated CCD detector with lowest dark current
- Flat field grating
- Full spectrum coverage: 170- 685 nm
- Resolution: 30 pm
- Argon purged for best transparency
- ClearSpectrum® technology for advanced spectra deconvolution
- Active Ambient Compensation (AAC) for operation between 10 and 45°C (50 and 113°F)



Analytical Solution Packages (ASP)

- Different matrix calibration packages available
- ASPs cover all major elements & alloy groups
- Upgradable for future expansion

Source Generator

- Maintenance-free, two phase PWM Generator
- Frequency 50 to 1000 Hz
- Spark & arc-like discharges from 10 μ s to 2 ms

Sparkstand

- Maintenance-free
- Argon consumption 2.5 l/min. during measurement
- Argon quality 4.8 (or better)

Software

- Intuitive Windows® based software for simple routine operation
- Various user levels for secure and task-specific operations
- Functions for qualitative and quantitative analysis
- Complete QMatrix Software Suite including analysis database & interfaces to Office software
- Grade Library functions

Electrical Data

- 100 to 240 V (50/60 Hz)
- 200 W during measurement, 50 W standby
- 16 A (240 V) slow blow fuse or 25 A (100 V)
- slow blow fuse

Dimensions & Weight

- Width 440 mm / 17 inches
- Height 220 mm / 9 inches
- Depth 390 mm / 15 inches
- Weight ~ 19 kg / ~ 42 lbs

6.10. Anexo 10. Informe técnico – Espectrometría por chispa



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
DEPARTAMENTO DE MATERIALES
LABORATORIO DE FUNDICIÓN



INFORME TÉCNICO

Solicitado por: Victor Jiménez y Sebastián Ochoa-Proyecto de Titulación "Producción de las partes constituyentes y ensamble de una bomba de triple émbolo"

Tipo de Trabajo: Espectrometría por chispa

Fecha: 19 de Octubre del 2017

Realizado por: Ing. Oscar Sotomayor

Descripción: Muestra de aluminio

1. ANTECEDENTES.

Se recibe en el Laboratorio de Fundición de la Escuela Politécnica Nacional una probeta. Se solicita realizar la prueba con la finalidad de determinar los componentes presentes en las muestras entregadas

2. IDENTIFICACIÓN DE LAS PROBETAS.

Las probetas para el análisis correspondiente son identificadas como se muestra a continuación:

Nombre	Identificación de la probeta
Muestra de Aluminio	Al_1

3. VALORES OBTENIDOS

El análisis de espectrometría por chispa se realiza empleando el espectrómetro marca BRUKER modelo Q2 ION según la Norma E 1251. Para el análisis se toman 3 mediciones por muestra promediando su valor.





ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
DEPARTAMENTO DE MATERIALES
LABORATORIO DE FUNDICIÓN



		Muestra
		Al_1
Elemento		Valor [%]
Silicio	Si	13,21
Hierro	Fe	0,418
Cobre	Cu	0,758
Manganeso	Mn	0,066
Magnesio	Mg	0,021
Cromo	Cr	0,019
Niquel	Ni	0,050
Zinc	Zn	0,114
Titanio	Ti	0,05
Plomo	Pb	0,0059
Estaño	Sn	<0,01
Vanadio	V	0,016
Estroncio	Sr	<0,003
circonio	Zr	0,021
Cobalto	Co	0,0069
Calcio	Ca	0,0035
Aluminio	Al	85,23


Ing. Oscar Sotomayor
**Jefe del Laboratorio de
Fundición.**



Bruker Analysis Report



Sample: muestra 3 (BOMBA 3E)

Analysis Time: 05.06.2017 11:08:58

Method: Al120

	Si [%]	Fe [%]	Cu [%]	Mn [%]	Mg [%]
∅	13.21	0.418	0.788	0.066	0.021
	Cr [%]	Ni [%]	Zn [%]	Ti [%]	Pb [%]
∅	0.019	0.060	0.114	0.060	0.0069
	Sn [%]	V [%]	Sr [%]	Zr [%]	Co [%]
∅	<0.0100	0.016	<0.0030	0.021	0.0089
	Ca [%]	Al [%]			
∅	0.0035	85.23			

6.11. Anexo 11. Informe de ensayo de tracción



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA
MECÁNICA



LABORATORIO DE ANÁLISIS
DE ESFUERZOS Y VIBRACIONES

INFORME TÉCNICO

LAEV – SEP.17.31.0

Quito, 20 de septiembre de 2017

TRABAJO SOLICITADO POR: ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
M.Sc. Oscar Efraín Sotomayor Galvez

Los resultados contenidos en el presente informe corresponden a ensayos realizados en muestras metálicas pertenecientes a los señores Víctor Jiménez y David Sebastián Ochoa para el proyecto de titulación "DISEÑO Y FABRICACIÓN POR FUNDICIÓN DEL SISTEMA DE SOPORTE Y CONEXIÓN DE UNA BOMBA DE DESPLAZAMIENTO POSITIVO". Las probetas fueron entregadas en el Laboratorio de Análisis de Esfuerzos y Vibraciones de la Escuela Politécnica Nacional.

RESULTADOS

1. **MUESTRAS:** Tres (3) probetas de sección circular para ensayo de tracción y una (1) probeta para ensayo de dureza.

2. ENSAYO DE TRACCIÓN

En la tabla 1 se presenta los resultados del ensayo de tracción realizado a las probetas de aluminio.

Tabla 1. Resultados del ensayo de tracción.

Id.	Díámetro promedio	Carga máxima registrada		Resistencia a la tracción		% elongación en 50 mm
	mm	N	lbf	MPa	ksi	
T-1	12,18	12.620	2.837	108,3	15,71	3,76
T-2	12,41	13.420	3.017	110,9	16,09	3,80
T-3	12,33	11.750	2.642	98,4	14,27	-

% de elongación no se puede determinar debido a que la probeta fallan fuera de las marcas establecidas en 50 mm.



ANEXO

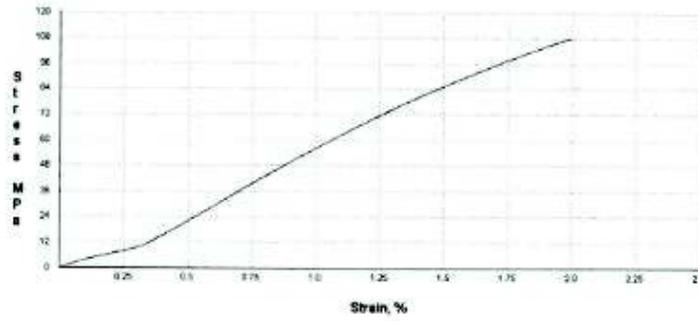


Figura 1. Curva de Esfuerzo vs. porcentaje de deformación de la probeta T-1.

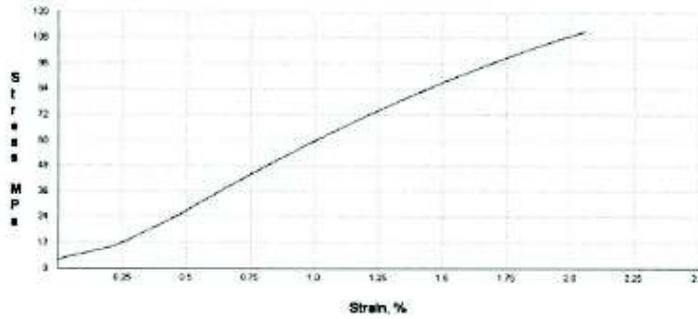


Figura 2. Curva de Esfuerzo vs. porcentaje de deformación de la probeta T-2.

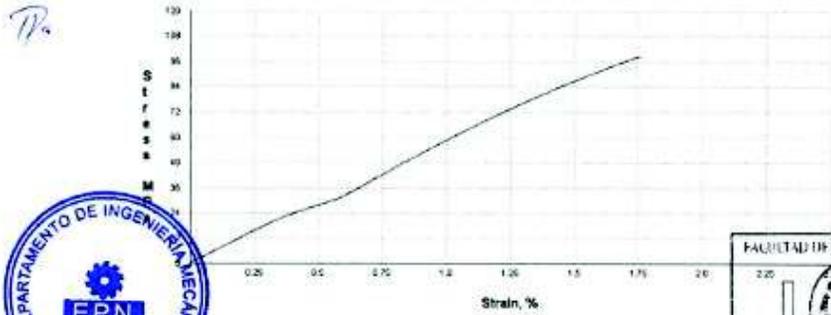


Figura 3. Curva de Esfuerzo vs. porcentaje de deformación de la probeta T-3.



Las curvas de esfuerzo vs. porcentaje de deformación se muestran en el anexo. El porcentaje de deformación que se puede observar en la curva corresponde al desplazamiento del cabezal de la máquina universal de ensayos.

3. ENSAYO DE DUREZA BRINELL

En la tabla 2 se presentan los resultados de las mediciones de dureza Brinell en escala 500-kgf (10-mm esfera).

Tabla 2. Dureza Brinell.

Mediciones de dureza Brinell HBW 10/500				Promedio
Muestra	1	2	3	
M-1	60,5	56,8	56,8	58,0

	REVISADO POR:	APROBADO POR:
Firma:		
Nombre:	X Ing. Jonathan Castro, M.Sc.	Ing. Mario Granja, M.Sc.
Cargo:	PROFESOR OCASIONAL II	JEFE

LABORATORIO DE ANÁLISIS DE ESFUERZOS Y VIBRACIONES



6.12. Anexo 12. Reporte de inspección por líquidos penetrantes

REPORTE DE INSPECCIÓN POR LIQUIDOS PENETRANTES	
ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL LABORATORIO DE ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS DEPARTAMENTO DE MATERIALES	
DATOS GENERALES	
Cliente: Victor Javier Jiménez Vizcarra, Estudiante titulación	Reporte N°: 01-2017
Fecha: Lunes 11 de Septiembre de 2017	Lugar: Quito-Ecuador
IDENTIFICACIÓN DE LA PIEZA	
Descripción: Separador de una bomba triple embolo y retenedores	Identificación: 0001
Material: Fundición de Aluminio	Estado Superficial: Mecanizado parcial y zonas con desbaste por moladora
ESQUEMA DE LA PIEZA	
	
a. Separador de una bomba triple embolo. b. Retenedores.	



Página 1 de 3

MATERIALES Y EQUIPOS		
Líquidos:		
Limpiador / removedor: Met-L-check E-59A	Emulsificador: N/A	
Penetrante: Met-L-check VP-30	Revelador: Met-L-check D-70	
Accesorios: N/A		
CONDICIONES DE TRABAJO		
Procedimiento: basado en ASTM E 165, Tipo II método A	Limpieza: Con solvente	
Tiempos:		
Penetrante: 10 minutos	Emulsificador: N/A	Revelador: 5 minutos
Luz de observación: Visible (sobre los 1700 lux)	Tiempo:	
Normas de Aceptación / Rechazo: No Aplicable. Examinación de zona de cuerpo de bielas.		
RESULTADOS		
ZONA	IMAGEN	OBSERVACIONES
Separador de una bomba triple embolo		Se detectan porosidades
Separador de una bomba triple embolo		Se detectan porosidades

<p>Separador de una bomba triple embolo</p>		<p>Se detectan porosidades</p>
<p>Retenedores</p>		<p>No se observan discontinuidades relevantes en la zona de interés</p>
<p>Retenedores</p>		<p>No se observan discontinuidades relevantes en la zona de interés</p>

OPERADOR:

Verónica Sotomayor

Nivel: LÍQUIDOS PENETRANTES –ASNT NIVEL II

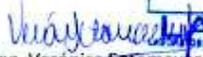
Firma:

Laboratorio de Ensayos No Destructivos
LAB-END

Cliente

Fecha: 11-09-2017

Fecha: 11-09-2017

Firma: 
Ing. Verónica Sotomayor
JEFE LAB-END

Firma: 
Sr. Victor Jiménez
Estudiante titulación



6.13. Anexo 13. Planos