



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL



FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA

“CONSTRUCCIÓN Y ANÁLISIS DEL FUNCIONAMIENTO DE UNA BOMBA RECIPROCANTE DE TRIPLE ÉMBOLO”

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

CLAUDIO GUERRERO LENIN JAVIER

lenin.claudio@epn.edu.ec

DIRECTOR: ING.OVIEDO FAUSTO, M. Sc.

fausto.oviedo@epn.edu.ec

COORDIRECTOR: ING.GRANJA MARIO, M. Sc.

mario.granja@epn.edu.ec

Quito, octubre 2018

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por **LENIN JAVIER CLAUDIO GUERRERO**, bajo mi supervisión.

Ing. Fausto Oviedo, M. Sc.

DIRECTOR DE PROYECTO

Ing. Mario Granja, M. Sc.

COORDIRECTOR DE PROYECTO

DECLARACIÓN

Yo, **LENIN JAVIER CLAUDIO GUERRERO** declaro bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de mi 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 cedo mis 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.

Lenin Javier Claudio Guerrero

DEDICATORIA

A mi madre Silvana Guerrero por su apoyo incondicional, comprensión, paciencia, sabiduría y amor.

A mi padre Gonzalo Claudio por sus principios, esfuerzos y su dedicación a lo largo de mi vida.

A mi hija Renata Claudio que ha sido fuente de mi inspiración desde el momento que llego a mi vida hasta el día de hoy.

A mi compañera Sandra Pinargote por brindarme su amor incondicional.

A la memoria de mi compañera Kelly Guerrero y mi hermano Patricio Claudio. Con amor para ustedes.

AGRADECIMIENTO

A Dios por su infinita bondad y amor hacia mí, por permitirme llegar a ser posible lo que soy.

A mis padres Silvana y Gonzalo por darme su amor, tiempo, dedicación y apoyo incondicional en cada etapa de mi vida. Por ser unos padres ejemplares y dignos de todo mi éxito, por darme las suficientes fuerzas para poder seguir por el camino de la verdad y ser mi apoyo ante cualquier adversidad.

A mi querida madre por su amor, esfuerzo, sacrificio y apoyo incondicional que siempre me ha brindado.

A mí querido padre por ser mi guía, consejero en mi carrera y mi vida. Por su infinito amor hacia mí.

A mí querida hija Renata por ser mi fuente de inspiración y amor desde el momento que llegó a mi vida.

A mí querido hermano Duban por ser mi amigo y compañero en todo momento.

A mis hermanos Duban, David y Gabriela por siempre estar juntos a pesar de las adversidades.

A la mujer que amo, Sandra gracias por apoyarme y alentarme ha no darme por vencido desde el momento que llegaste a mi vida.

A los Ingenieros Fausto Oviedo y Mario Granja por su orientación y consejos enfocados en este proyecto.

Al Tecnólogo René Valenzuela por su orientación y guía para la obtención del proyecto.

A Omar Toapanta, Andy Naula, Joel Loor por el apoyo en la construcción de la bomba triplex.

ÍNDICE

CERTIFICACIÓN.....	i
DECLARACIÓN.....	ii
DEDICATORIA	iii
AGRADECIMIENTO	iv
RESUMEN.....	xii
ABSTRACT.....	xiii
INTRODUCCIÓN.....	1
Objetivo general	3
Objetivos específicos.....	3
CAPITULO I.....	4
1. MARCO TEORICO	4
1.1. Procesos de manufactura de materiales metálicos.	4
1.1.1. Generalidades	4
1.1.2. Manufactura.....	4
1.1.3. Procesos de manufactura.....	5
1.1.4. Operaciones de procesamiento	5
1.1.5. Procesos de remoción de material.....	6
1.1.6. Maquinado de materiales metálicos.....	7
1.2. Estudio de las bombas recprocante de triple embolo	9
1.2.1. Bombas hidráulicas	9
1.2.2. Bombas de desplazamiento positivo.....	9
1.2.3. Clasificación de las bombas de desplazamiento positivo.....	10
1.2.4. Bomba recprocante de triple émbolo.	11
1.3. Constitución y funcionamiento de bomba triplex	12
1.3.1. Carcasa.....	12
1.3.2. Cilindros	14
1.3.3. Cigüeñal.....	16
1.3.4. Biela	18
1.3.5. Émbolo o Pistón.....	19
1.4. Ensamble	20
1.4.1. Componente base	21
1.4.2. Elementos de montaje.....	21
1.4.3. Unión y conexión	21
1.4.4. Acabados superficiales.....	22
1.4.5. Tolerancias	23
1.5. Pruebas.....	24

1.5.1. Pruebas de funcionamiento.....	25
1.5.2. Prueba Hidrostática	25
1.5.3. Prueba de carga	25
1.5.4. Pruebas de Potencia	25
CAPITULO II.....	26
2. DISEÑO DE DETALLE	26
FABRICACIÓN, ENSAMBLE Y PROTOCOLO DE PRUEBAS.....	26
2.1. Introducción.....	26
2.2. Elementos constituyentes de bomba	26
2.3. Planos de fabricación	28
2.4. Hojas de Procesos.....	28
2.4.1. Máquinas Herramientas	29
2.5. Parámetros de corte	33
2.5.2. Velocidad de avance	34
2.5.3. Tiempo de mecanizado	35
2.6.1. Velocidad de corte	36
2.6.1.1. Inyector	36
2.6.2. Parámetros de corte	38
2.7. Manufactura de componentes de la bomba.....	39
2.7.1. Carcasa.....	40
2.7.2. Separador	43
2.7.3. Cigüeñal.....	47
2.7.4. Biela	52
2.7.5. Pistón	55
2.7.6. Cámara	58
2.7.7. Tapas laterales	66
2.8. Ensamble	70
2.8.1. Sistema 1: Elemento Pistón/Biela	70
2.8.2. Sistema 2: Elemento Pistón/Cigüeñal.....	72
2.8.3. Sistema 3: Elemento Tapas/Cigüeñal/Carcasa	73
2.8.4. Sistema 4: Elemento Separador/Carcasa.....	75
2.8.5. Sistema 5: Carcasa/Separador/Cámaras	76
2.8.6. Sistema 6: Cámaras	78
2.8.7. Sistema 7. Ensamble final.....	80
2.9. Protocolo de pruebas.....	83
2.9.1. Puesta a marcha Biela/manivela.....	83
2.9.2. Puesta a marcha de inyectores.....	84

2.9.3. Puesta a macha inyector/cámaras	86
2.9.4. Prueba de bombeo (funcionamiento).....	87
2.10. Costos	89
2.10.1. Análisis de costos directos de fabricación	90
3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	99
3.1. Resultado	99
3.1.1. Mecanizado de los componentes.....	99
3.1.2. Elementos ensamblados	113
3.1.3. Resultado de pruebas	116
4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	119
4.1. Conclusiones.....	119
4.2. Recomendaciones	121
Referencias Bibliográficas.....	122

CONTENIDO DE FIGURAS

Figura 1.1. Clasificación de los procesos de manufactura.....	6
Figura 1.2. Tipos de procesos de remoción de material.	7
Figura 1.3. a) Proceso de arranque de viruta b) Herramienta de corte.	8
Figura 1.4. Los procesos más comunes de maquinado: a) Torneado, b) taladrado, c) fresado periférico y d) fresado vertical.	8
Figura 1.5. Clasificación de las bombas de desplazamiento positivo.....	10
Figura 1.6. Esquema de una bomba triplex.	11
Figura 1.7. Bomba horizontal de potencia triplex.	11
Figura 1.8. Carcasa de la bomba triplex.	13
Figura 1.9. Camisa con pestaña de apoyo.	15
Figura 1.10. Tipos de camisas: a) Camisa seca con pestaña b) Camisa seca sin pestaña.	16
Figura 1.11. Partes del cigüeñal.	16
Figura 1.12. Partes de la biela.	18
Figura 1.13. émbolo de motor enfriado rápidamente por sistema de lubricación de aceite.	19
Figura 1.14. Relaciones entre procesos, acabado superficial y rugosidad.....	23
Figura 1.15. Tabla de rugosidades y equivalencias.	23
Figura 1.16. Campo de tolerancias.	24
Figura 2.1. Desmontaje de la bomba triplex.....	28
Figura 2.2. Fresadora universal (funcionalidad vertical).....	29
Figura 2.3. Torno Paralelo Géminis.	30
Figura 2.4. Torno Paralelo H. Ernault. Samua.....	30
Figura 2.5. Limadora.	31
Figura 2.6. Taladro de Pedestal.....	32
Figura 2.7. Soldadura multifunción 350 PRO.	32
Figura 2.8. Velocidad de corte para movimientos rotativos en las maquinas herramientas.....	33
Figura 2.9. Denominación de mecanizado de carcasa	42
Figura 2.10. Mecanizados de Carcaza: a) Cilindrado de caras, b) Planeado, c) y d) Fresado Longitudinal, e) Rectificado(Mandrinado), f) Planeado lateral.....	42
Figura 2.11. Acople de cámaras/separador.....	43
Figura 2.12. Mecanizado con ayuda de acople de cámaras/separador.	44
Figura 2.13. Denominación de mecanizado del separador.....	46

Figura 2.14. Mecanizado de Separador: a) Perforado, b) y c) Fresado Longitudinal interior, d) y e) Planeado lateral, f) fresado longitudinal (soporte).	47
Figura 2.15. Útil de mecanizado de muñones de cigüeñal.	48
Figura 2.16 Útiles de mecanizado del cigüeñal.	49
Figura 2.17. Sistema de mecanizado cigüeñal.	49
Figura 2.18. Denominación de mecanizado de cigüeñal.	51
Figura 2.19. Mecanizado de cigüeñal a) cilindrado de base de rodamiento, b) útil de mecanizado de muñones, c) Cilindrado de muñones, Refrentado de muñones, e) Superficie rectificada de muñones, f) cigüeñal mecanizado.	52
Figura 2.20. Denominación de mecanizado de biela.	54
Figura 2.21. Mecanizado de biela: a) bielas fundidas b) Planeado de caras, c) Corte de cabeza de biela con sierra de cinta, d) Roscado, e) Perforado, f) Biela termina.	55
Figura 2.22. Denominación de mecanizado del pistón.	57
Figura 2.23. Mecanizado de biela: a) bielas fundidas b) Planeado de caras, c) Corte de cabeza de biela con sierra de cinta, d) Roscado, e) Perforado, f) Biela termina.	58
Figura 2.24. Acople de válvula de succión.	59
Figura 2.25. Acople de válvula de descarga.	60
Figura 2.26. Acople prensa estopa de agua.	61
Figura 2.27. Acople sujeción separador.	62
Figura 2.28. Denominación de mecanizado cámara	65
Figura 2.29. Mecanizado de cámara: a) Refrentado cara de succión b) Refrentado prensa estopa, c) Cilindrado interior, d) Cilindrado exterior, e) Torneado exterior, f) Biela termina.	66
Figura 2.30. Denominación de mecanizado tapas laterales.	68
Figura 2.31. Mecanizado de tapas laterales: a) y b) Tapas fundidas c) Refrentado de tapa, d) Cilindrado exterior, e) y f) tapa lateral terminada.	69
Figura 2.32. Secuencia de ensamble pistón/biela.	71
Figura 2.33. Ensamble pistón/biela.	72
Figura 2.34. Secuencia de ensamble pistón/cigüeñal	73
Figura 2.35. Ensamble pistón/cigüeñal	73
Figura 2.36. Secuencia de ensamble Tapas/Cigüeñal/Carcasa.	74
Figura 2.37. Ensamble Tapas/Cigüeñal/Carcasa.	75
Figura 2.38. Secuencia de ensamble Separador/Carcasa.	76
Figura 2.39. Ensamble Separador/Carcasa.	76
Figura 2.40. Secuencia de ensamble carcasa /separador/cámaras.	78
Figura 2.41. ensamble carcasa /separador/cámaras.	78
Figura 2.42. Secuencia de ensamble de válvulas de succión.	79

Figura 2.43. Secuencia de ensamble de válvulas de descarga.....	80
Figura 2.44. Instalación de válvulas de descarga.....	80
Figura 2.45. Bomba triplex vista frontal	82
Figura 2.46. Bomba triplex vista lateral.....	82
Figura 2.47. Prueba biela/manivela.	84
Figura 2.48. Prueba de inyectores.....	85
Figura 2.49. Prueba de inyectores/cámaras.....	87
Figura 2.50. Prueba de bombeo.	88
Figura 3.1. Problemas de mecanizado y fundición del pistón.....	100
Figura 3.2. Pistón Terminado.....	100
Figura 3.3. Defectos de fundición en la cámara.	101
Figura 3.4. Defecto de fundición, Incrustación en cámara.....	102
Figura 3.5. Defecto de fundición, Porosidades.....	102
Figura 3.6. Cámara Terminada.....	102
Figura 3.7. Biela Terminada.....	103
Figura 3.8. Cigüeñal Terminado.....	104
Figura 3.9. Defectos de las tapas laterales.	105
Figura 3.10. tapa lateral terminada.	105
Figura 3.11. falla de fundición en carcasa (disposición de cilindros).....	106
Figura 3.12. Dificultad de mecanizado en carcasa.....	106
Figura 3.13. Carcasa terminada.....	107
Figura 3.14. Defectos de fundición en el separador.....	108
Figura 3.15. Separador terminado.	108
Figura 3.16. Inyector.....	109
Figura 3.17. Prensa estopa de aceite.	109
Figura 3.18. Prensa estopa de agua.....	110
Figura 3.19. Chaqueta.....	110
Figura 3.20. Tapa de suministro.	111
Figura 3.21. Múltiple de descarga.....	111
Figura 3.22. Válvulas de descarga.....	112
Figura 3.23. Válvulas de succión.	112
Figura 3.24. Bomba triplex	115
Figura 3.25. Defectos de fundición cámara 1 y 2 (prueba de bombeo).....	116
Figura 3.26. Reparación de defectos de cámaras.....	117
Figura 3.27. Prueba de bombeo	117
Figura 3.28. Presión de bombeo.....	118

CONTENIDO DE TABLAS

Tabla 1.1. Partes constituyentes de la bomba triplex.....	12
Tabla 1.2. Características del cigüeñal en relación al orden de encendido.....	17
Tabla 1.3. Elementos constituyentes de biela.	18
Tabla 2.1. Elementos constituyentes de la bomba triplex	27
Tabla 2.2. Velocidad de corte de la fresadora universal.	29
Tabla 2.3. Velocidad de corte Torno Géminis	30
Tabla 2.4. Velocidad de corte del Torno H. Ernault. Samua.	30
Tabla 2.5. Velocidad de corte de la limadora.	31
Tabla 2.6. Velocidad de corte de taladro pedestal.	31
Tabla 2.7. Tiempos de preparación de máquina.	35
Tabla 2.8. Parámetros de corte del cigüeñal.	38
Tabla 2.9. Descripción del proceso de mecanizado de la carcasa.....	40
Tabla 2.10. Instrumentos de control de la carcaza.....	40
Tabla 2.11. Mecanizado con ayuda de acople de cámaras/separador.	44
Tabla 2.12. Instrumentos de control del separador.	45
Tabla 2.13. Descripción del proceso de mecanizado del cigüeñal.	50
Tabla 2.14. instrumentos de control.....	50
Tabla 2.15. Descripción del proceso de mecanizado de la biela.	53
Tabla 2.16. Instrumento de control de la biela.....	53
Tabla 2.17. Descripción del proceso de mecanizado del pistón.	56
Tabla 2.18. Instrumentos de control del pistón.....	56
Tabla 2.19. Descripción del proceso de mecanizado de la cámara.....	63
Tabla 2.20. Instrumentos de control de cámara	64
Tabla 2.21. Descripción del proceso de mecanizado de tapas laterales.....	67
Tabla 2.22. Instrumentos de control de las tapas laterales.....	67
Tabla 2.23. Puesta a marcha Sistema biela/manivela.	83
Tabla 2.24. Puesta a marcha de inyectores.	85
Tabla 2.25. Puesta a marcha de inyectores/cámaras.	86
Tabla 2.26. Prueba de bombeo.....	88
Tabla 2.27. Costos de materia prima.....	90
Tabla 2.28. Costos de operaciones de mecanizado.	92
Tabla 2.29. Costos de elementos normalizados.....	94
Tabla 2.30. Costos de ensamble y pruebas.	96
Tabla 2.31. Costos indirectos de fabricación.....	97
Tabla 2.32. Costo total de la bomba triplex.	98

RESUMEN

El presente tema de titulación comprende la parte final del proyecto de investigación, que implica la construcción y el análisis del comportamiento de la bomba reciprocante de triple émbolo, por tal razón, el proyecto se fundamentó en varios temas de importancia, tales como: el análisis de las condiciones de trabajo de cada uno de los componentes, la determinación de los procesos de manufactura pertinentes para la obtención de los elementos finales, el tipo de ensamble a realizar y un protocolo de pruebas para la comprobación del correcto funcionamiento de la bomba.

Para el diseño y construcción de la bomba se estableció como punto de partida la obtención de los componentes de la bomba, por medio del proceso de fundición. Para el mecanizado de los componentes mecánicos se utilizó procesos estandarizados que faciliten la obtención de la bomba con los ajustes y acabados superficiales necesarios para el ensamble y la puesta a punto de la máquina, donde se afinó y se realizó el respectivo protocolo de pruebas de cada sistema relevante de la bomba.

De esta manera, se obtuvo una bomba reciprocante de triple émbolo funcional y con las características técnicas planteadas en el diseño. La capacidad de la máquina es 100PSI a 122RPM y esta depende netamente de la velocidad que se le proporcione, por lo tanto, la presión de bombeo aumenta al incrementar la velocidad de accionamiento.

Palabras clave: Bomba, mecanizado, protocolo de pruebas, funcional, capacidad.

ABSTRACT

The present work is related to the research project final stage, that implies the construction and analysis of the behaviour of the triple plunger reciprocating pump, the project was based on several important topics, such as: the analysis of the working conditions of each component, the determination of the relevant manufacturing processes to obtain the final elements, the type of assembly to be performed and a testing protocol in order to test the pump correct operation.

For the design and construction of the pump, the first task was to obtain the pump components by using the casting process. For the machining of the components, standardized processes were used to obtain the pump settings and required surface finishes for the assembly and tuning of the machine. In addition, the pump was tuned and a test protocol was carried out in each important system of it.

In this way, a functional triple plunger reciprocating pump was obtained with all the technical features proposed in the design stage. The pump capacity is 100 PSI at 122 RPM, and it clearly depends on the provided speed, therefore, the pumping pressure increases as the driving speed does.

Keywords: Pump, machining, testing protocol, functional capacity.

“CONSTRUCCIÓN Y ESTUDIO DEL FUNCIONAMIENTO DE UNA BOMBA RECIPROCANTE DE TRIPLE ÉMBOLO”

INTRODUCCIÓN

Este trabajo inicia con el estudio del funcionamiento de una bomba reciprocante de triple émbolo. El cual constituye la parte final del proyecto de investigación, referente a la obtención de una bomba triplex en funcionamiento.

La manufactura de equipos de bombeo, presentan importancia en la industria ecuatoriana. El proyecto se vincula con el desarrollo del cambio de la matriz productiva del país. Esto debido a que actualmente los equipos de bombeo son importados, provocando altos costos y mayor tiempo de adquisición.

Con este proyecto se demuestra la factibilidad de la fabricación de estos equipos de bombeo en el país, permitirá concluir que es posible avanzar en el cambio de la matriz productiva. En el presente trabajo se determina las bases de los sistemas estandarizados para la obtención de los elementos constituyentes de la bomba, de tal manera, que se describirá los procesos de manufactura necesarios para la obtención de una bomba reciprocante de triple émbolo.

Los procesos desarrollados consideran la posibilidad de ser realizados por medio de la manufactura nacional desde una primera fase de selección de materiales constituyentes de la bomba, tales como, aleaciones de aluminio, aleaciones de bronce, fundición gris y aceros aleados. Hasta una última fase de ensamblaje y protocolo de pruebas de la bomba triplex.

En el proceso de ensamble de la máquina se establece los diferentes tipos de mecanizados de cada elemento de la bomba con sus respectivos ajustes y acabados superficiales, para lo cual se utiliza máquinas herramientas convencionales, tales como torno, fresadora, cepillo, taladro, rectificadora, mandrinadora, soldadura multifunción, etc. Por medio de este estudio se establece los procesos de mecanizados óptimos, de menor tiempo y por ende de menor costo, los mismos que servirán de pilares para la fabricación de estos equipos.

Para la construcción y el estudio del funcionamiento de la bomba, se han enfocado en tres puntos, los cuales son procesos estandarizados que permiten garantizar la calidad del equipo los cuales son:

El primer punto es la obtención de los componentes de la bomba, por medio de los procesos de fundición para la adquisición de los elementos constituyentes de la bomba, los cuales fueron obtenidos después de realizar un estudio minucioso del tipo de métodos teóricos y experimentales.

El segundo aspecto se refiere a los tipos de mecanizados necesarios para la obtención de los elementos que componen la bomba, de tal manera, el mecanizado se realiza por medio de los diferentes tipos de máquinas herramientas, mediante el arranque de virutas de cada elemento fundido y constituyente la bomba.

La materia prima que se utilizó en el cigüeñal, bielas y tapas laterales son de fundición gris; la carcasa, el separador, las tapas y las prensa estopas de aceite son de aleación de aluminio; las cámaras y pistones de las bombas son de aleaciones de bronce al aluminio; el inyector de acero inoxidable, y las bridas, acoples, múltiples son de acero A-36.

El tercer punto es el ensamble y puesta a punto de la bomba triplex. Esta dado por el ensamble de los tres elementos principales: la carcasa, el separador y las cámaras, los mismos que cuentan con elementos normalizados, de tal manera que al final se obtiene un ensamble total de la bomba triplex. Seguidamente se afina el equipo y se realiza el protocolo de pruebas para la verificación de las especificaciones técnicas requeridas en la bomba preestablecida. Las pruebas realizadas son: hidrostáticas, de capacidad, de carga y prueba de potencia.

Objetivo general

Construir y analizar el comportamiento de una bomba reciprocante de triple émbolo.

Objetivos específicos

- Determinar las especificaciones técnicas de la bomba reciprocante de triple émbolo.
- Diseño conceptual de la bomba reciprocante de triple émbolo.
- Diseño de materialización de la bomba reciprocante de triple émbolo.
- Diseño de detalle de la bomba reciprocante de triple émbolo.

CAPITULO I

1. MARCO TEORICO

1.1. Procesos de manufactura de materiales metálicos.

1.1.1. Generalidades

La manufactura de los materiales son procesos que permiten modificar la geometría, propiedades, acabado superficial y sus características; transforman y revalorizan los recursos naturales (materia prima), permitiendo suplir las necesidades requeridas por el ser humano. El objetivo primario de todo proceso de manufactura será producir un componente útil de forma y dimensiones deseadas, con los acabados y propiedades requeridos, todo esto al menor costo y de forma sustentable.

1.1.2. Manufactura

La manufactura permite realizar productos a partir de materia prima inicial, mediante el uso de diferentes procesos existentes. Por medio del uso de herramientas manuales, maquinaria convencional, maquinaria computarizada (CN).

Por tal razón la manufactura de un objeto es el conjunto de pasos necesarios para la obtención de un producto a partir de una materia prima, los mismos que requieren de ciertos parámetros a seguir para conseguir el índice de calidad del producto obtenido.

Los pasos a seguir son:

- Planificación del proceso.
- Hojas de proceso.
- Hojas de ruta.
- Herramientas del proceso.
- Herramientas de corte, máquinas herramienta (tradicional), Control numérico (CN) y control numérico computarizado (CNC).
- Plantillas y accesorios.
- Generación de información de fabricación.
- Programas de pieza CNC(CAM).
- Robots programadores.
- Sistemas de fabricación flexibles (FMS), tecnología de grupo (GT) y fabricación integrada computarizada (CIM) (Singh, 2006, pág. 18)

1.1.3. Procesos de manufactura

Un proceso de manufactura es un procedimiento diseñado para obtener un cambio físico (forma o dimensiones) y/o químicos a un material de trabajo para obtener un elemento o equipo que cumplen con los requerimientos deseados por los usuarios. El proceso de manufactura se realiza por medio de una o varias operaciones, que constituyen una sola secuencia de pasos requeridos para transformar el material inicial en un producto final. Los procesos de manufactura se pueden dividir en dos tipos básicos:

- Operación de procesamiento
- Operación de ensamble

Una operación de procesamiento, permite transformar un material de trabajo de un estado predeterminado hasta un estado más avanzado, es decir, el producto final. El proceso permite agregar valor económico, al cambiar la geometría, y las propiedades físico-químicas del material de partida.

Una operación de ensamble es aquella que une dos o más componentes para crear una nueva entidad, llamada conjunto, subconjunto u otro término que haga referencia a el proceso de unión. (Singh, 2006)

1.1.4. Operaciones de procesamiento

Una operación de procesamiento se basa en el uso de energía para cambiar la forma de un elemento de trabajo, las propiedades físicas y químicas. Los tipos de formas de energía son: mecánica, térmica, eléctrica y química. La misma que se aplica de forma continua y controlada por medio de máquinas herramientas.

En la figura 1.1. se establece los diferentes procesos de manufacturas utilizados para el procesamiento de materiales.

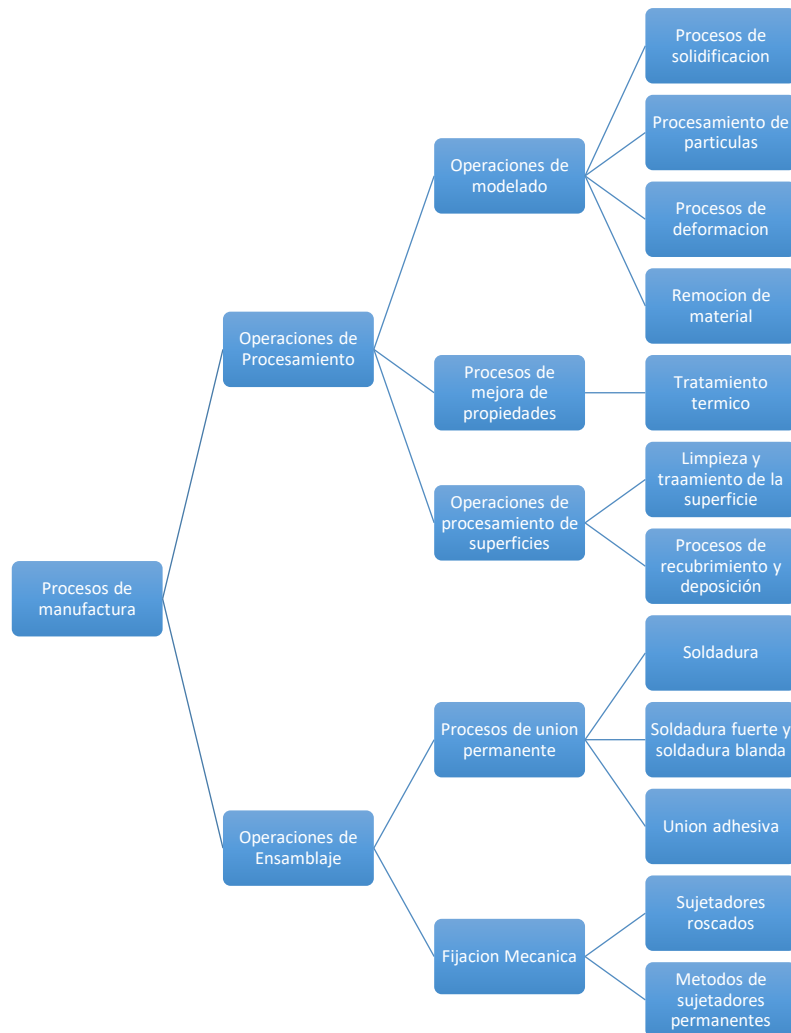


Figura 1.1. Clasificación de los procesos de manufactura.
(Groover, 2010, pág. 11)

La operación de procesamiento, en este proyecto es el de arranque de viruta, la energía utilizada por la maquinaria permite la transformación de la materia prima. La mayoría de los procesos por arranque de viruta producen desechos, ya sea como un aspecto natural del proceso (eliminación de material, como en el mecanizado) o en forma de piezas ocasionales defectuosas. (Groover, 2010)

1.1.5. Procesos de remoción de material

Los procesos de eliminación de material es una serie de operaciones en las cuales se elimina el exceso de material de un elemento de trabajo inicial para obtener lo deseado con la geometría y dimensiones deseadas.

Los procesos de arranque de viruta más utilizados son el torneado, fresado y perforado, mientras que las operaciones menos utilizadas son cepillada, brochado y rectificado a continuación se indica en la figura 1.2. un esquema de los diferentes procesos.

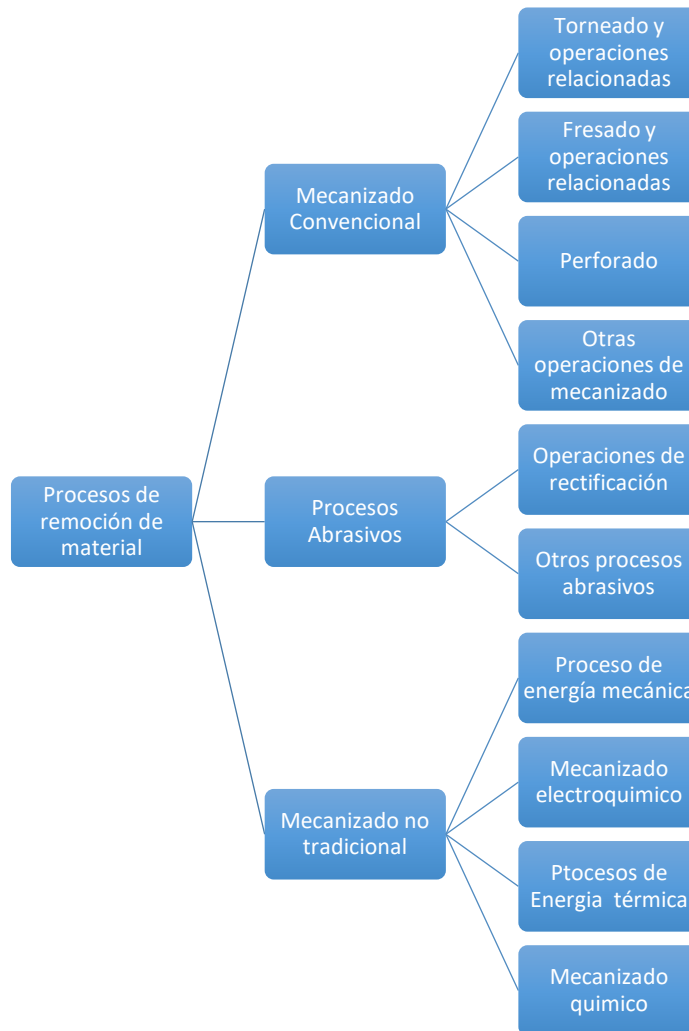


Figura 1.2. Tipos de procesos de remoción de material.

(Groover, 2010, pág. 484)

1.1.6. Maquinado de materiales metálicos

El maquinado en materiales metálicos es un proceso de manufactura que permite remover el exceso de material por medio del uso de una herramienta de corte, de tal forma que se obtiene la forma deseada. Este proceso permite dar forma, dimensiones, tolerancias y acabado superficial deseado en el material metálico base.

El proceso de maquinado permite trabajar todo tipo de metal base, partiendo de su forma y dimensiones en bruto. De tal forma que la acción fundamental del proceso es la deformación cortante del material de trabajo. Mediante este proceso se puede obtener un elemento por medio de una operación de maquinado o combinando varias operaciones, las mismas que son secuenciales, de tal forma de obtener un elemento de forma compleja y variedad ilimitada.

El maquinado permite obtener dimensiones con tolerancias mayores a 0.025 mm, de tal manera que es un proceso mucho más exacto que otros. Los acabados superficiales por medio de este proceso son de una rugosidad muy fina, sin embargo, existen algunos procesos abrasivos que permiten obtener mejores acabados superficiales.

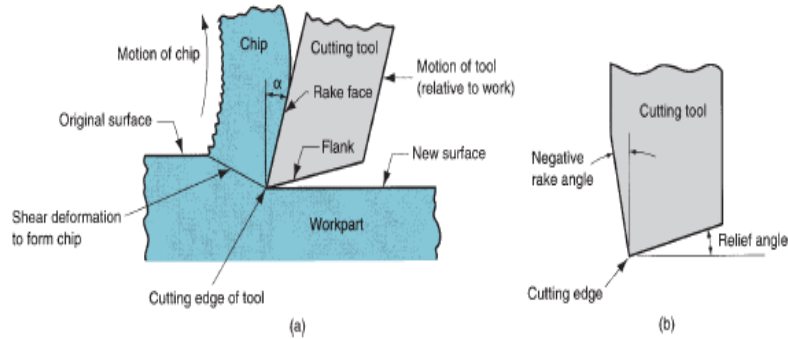


Figura 1.3. a) Proceso de arranque de viruta b) Herramienta de corte.
(Groover, 2010)

1.1.6.1. Tipos de operaciones de maquinado

Los tipos de operaciones de maquinado, son de un contexto muy amplio y variado. Estas operaciones permiten obtener cierto tipo de geometría, textura superficial y tolerancias. Las operaciones más usuales en la industria son: el torneado, el taladrado y el fresado, los cuales se ilustran en la figura 1.4.

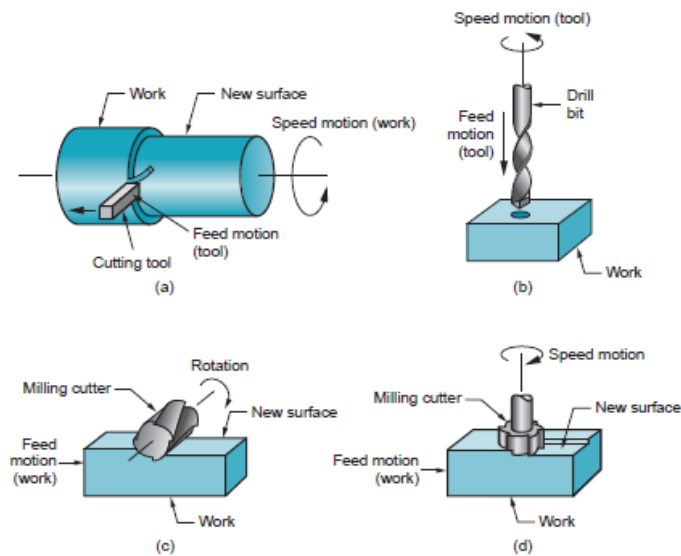


Figura 1.4. Los procesos más comunes de maquinado: a) Torneado, b) taladrado, c) fresado periférico y d) fresado vertical.

(Groover, 2010)

1.2. Estudio de las bombas recprocante de triple embolo

El conocimiento de las funciones y características técnicas de las bombas recprocantes de triple émbolo, son fundamentales para garantizar la construcción, ensamble y funcionamiento de a máquina a obtener.

1.2.1. Bombas hidráulicas

Las bombas hidráulicas son dispositivos mecánicos que reciben energía mecánica de un motor impulsor el cual puede ser la corriente de un río, un motor eléctrico o un motor de combustión interna (Gasolina, diésel, COP, etc.) y permite convertir esta energía mecánica en una energía hidráulica.

La energía suministrada periódicamente al fluido por medio de una aplicación de una fuerza directa, sobre un volumen de líquido, permite incrementar la presión del líquido bombeado hasta la presión deseada para la descarga.

1.2.2. Bombas de desplazamiento positivo

Las bombas de desplazamiento positivo son dispositivos mecánicos que consisten en el movimiento del fluido que pasa a través de una cámara produciendo un aumento de presión en el interior de la bomba por la disminución del volumen producido en la cámara.

Estos dispositivos mecánicos cuentan con una cámara de succión, que es la que permite el aumento del volumen y de una cámara de impulsión o descarga en la cual se comprime el volumen del fluido, por tal motivo estas bombas son conocidas como bombas volumétricas

Las bombas recprocantes son elementos de desplazamiento positivo que permiten en flujo determinado de un líquido a través del paso de la cámara, el mismo que es impulsado a través de toda su trayectoria por medio de un pistón o émbolo, a través de la distancia de la carrera.

1.2.3. Clasificación de las bombas de desplazamiento positivo

Las bombas de desplazamiento positivo se dividen en dos grandes grupos:

- **Bombas reciprocantes:** Son dispositivos los cuales son provistos de un movimiento alternativo las cuales permiten comprimir el volumen del fluido a través de la cámara utilizadas para el manejo de líquidos y gases, las mismas que son operadas por vapor o mecánicamente.
- **Bombas rotatorias:** Son dispositivos provistas de un movimiento rotatorio. Consisten en una carcasa fija en donde se desplaza el fluido a través de engranajes, aspas, tornillo las cuales son utilizadas para manejar cualquier líquido, que este excepto de solidos abrasivos, las mismas son más utilizadas que las bombas reciprocantes.

En la figura 1.5. se indica la clasificación de las bombas de desplazamiento positivo.



Figura 1.5. Clasificación de las bombas de desplazamiento positivo.

(GlobalSpec, 2017)

1.2.4. Bomba reciprocante de triple émbolo.

Las bombas reciprocantes de triple émbolo también conocidas como bombas triplex de acción simple son dispositivos mecánicos que poseen tres cilindros de acción que recorren a través de la cámara. Los pistones se mueven a través de su carrera permitiendo el movimiento hacia el punto muerto inferior (hacia atrás) con lo cual el fluido se mueve a través de las válvulas de admisión abiertas (válvulas de succión). Luego, mediante el movimiento de los pistones hacia el punto muerto superior (hacia adelante), el fluido es empujado a través de la válvula de descarga abierta.

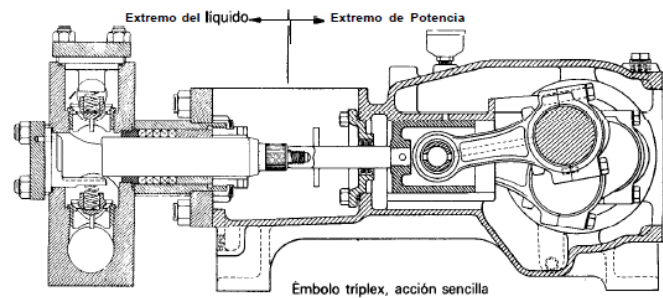


Figura 1.6. Esquema de una bomba triplex.

(McNaughton, 2010)

En la figura 1.7. se muestra las partes constituyentes de una bomba reciprocante de triple émbolo horizontal.

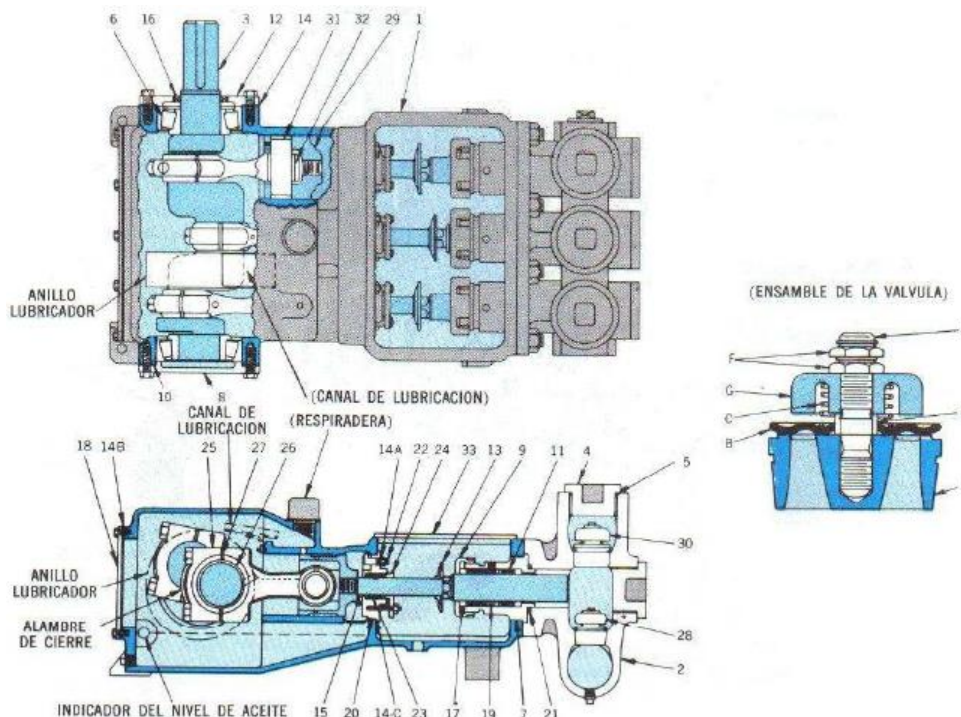


Figura 1.7. Bomba horizontal de potencia triplex.

(Zubicaray & Alvarez, 2003, pág. 142)

En la tabla 1.1 se indica las partes constituyentes de una bomba triplex horizontal de acción simple.

Tabla 1.1. Partes constituyentes de la bomba triplex.

PARTES		
1. Soporte del bastidor	13. Deflector	22. Tornillo de expulsión
2. Cilindro	14. Junta	23. Empaque de extremo
3. Cigüeñal	14A. Junta	24. Prensa-estopas
4. Cabeza del cilindro	14B. Junta	25. Biela
5. Anillo "o"	14C. Junta	26. Metal de la biela
6. Balero del Cigüeñal	15. Émbolo	27. Lainas de la biela
7. Caja de empaques	16. Sello de aceite	28. Válvula de succión
8. Tapa de balero en el extremo cerrado	17. Anillo de empaque del émbolo	29. Cruceta
9. Tuerca de la caja de empaques	18. Tapa trasera del bastidor	30. Válvula de descarga
10. Laina	19. Anillo de linterna	31. Perno de cruceta
11. Empaque del émbolo	20. Caja de empaque del diafragma	32. Perno del bruje de la cruceta
12. Tapa del balero del extremo motriz	21. Junta de la caja de empaques	33. Tapa superior del bastidor

(Zubicaray & Alvarez, 2003, pág. 143)

1.3. Constitución y funcionamiento de bomba triplex

En el presente capítulo se analizará los componentes más importantes en la fabricación de una bomba reciprocante de triple émbolo (Bomba triplex).

La bomba reciprocante de triple émbolo son dispositivos mecánicos que trabajan en posición horizontal o vertical, la cual dependiendo del número de cilindros obtiene su nombre y número de componentes, en el caso de la bomba de estudio se denominó tres cilindros, la cual obtiene el nombre de bomba reciprocante de triple émbolo o bomba triplex de potencia simple. Por tal razón la bomba triplex contará con un número de tres cilindros en la carcasa, tres émbolos o pistones, tres bielas, tres prensas estopas, tres cámaras de acción. A continuación, se describirá cada uno de los elementos principales y constituyentes en la obtención de la bomba.

1.3.1. Carcasa

La carcasa o también denominada el bloque de motor desempeña la función primordial de ser el sostén estructural de todos los componentes de la bomba, a través de la misma se unirán la mayoría de los componentes que constituyen la bomba.

La carcasa es un elemento que tiene por funciones soportar las cargas internas procedentes del tren alternativo, y las fuerzas externas producidas por la unión de la estructura con el separador de la bomba.

Las funciones más primordiales que sustentará la carcasa, las cuales son fundamentales para el correcto y óptimo funcionamiento de la bomba. De las cuales cabe destacar las siguientes:

- Rigidez del sistema.
- Permite el correcto funcionamiento de los pistones y segmentos.
- Soporte de tapas de cojinetes.
- Soporte de cigüeñal.
- Soporte del separador (incluye soporte de las cámaras).
- Circulación del sistema de lubricación.
- Resistencia mecánica al desgaste y corrosión.
- Resistencia térmica y deformación por choque térmicos.
- Ser lo más ligera posible (Flores, 2005).

La carcasa depende de la forma, disposición y características del bloque, la misma que puede ser en línea, y en "V", dependiendo de las necesidades constituyente del motor. En la cual la misma está constituida en su interior por cilindros y sobre los cuales se desplazan los pistones por acción de la biela. La carcasa es el componente más voluminoso de la bomba, en el cual se alojan la mayor cantidad de elementos fijos y móviles. A continuación, en la figura 1.8. se describe un esquema básico de la carcasa de la bomba.

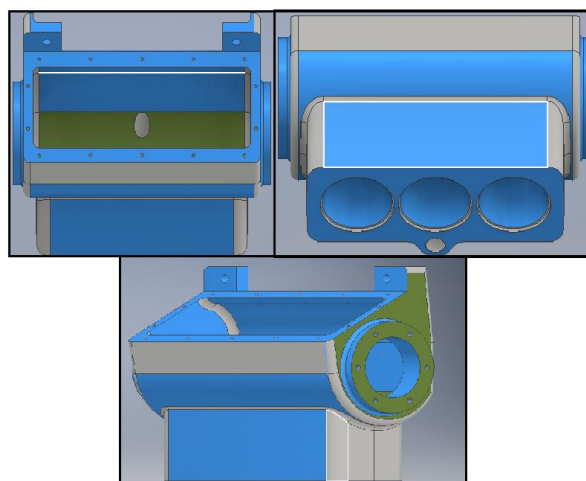


Figura 1.8. Carcasa de la bomba triplex.
(Guanuchi & Moposita, 2017)

La carcasa para una bomba triplex debe cumplir con las siguientes características:

- Disposición en línea de las válvulas de presión.
- Tres cilindros de acción.
- Sistema de lubricación.
- Disposición de tapas de rodamientos.
- Soporte de cigüeñal.
- Soporte de Tapas laterales
- Soporte de separador.

1.3.2. Cilindros

Los cilindros son elementos de suma importancia puesto que es donde se ubican y se guían los pistones. Presentan la forma de un cojinete con una ceja de resalte circular en la camisa, la cual funciona de tope en la abertura que se encuentra en el bloque de la carcasa.

Las formas de los cilindros deben ser geoméricamente circulares, los cilindros deben de ser fijos y al momento de su montaje deben presentar diámetro constante en toda su longitud, sin presentar ovalaciones ni conicidades en toda su estructura.

Los cilindros pueden ser de dos tipos: Los que están constituidos en el mismo cuerpo del bloque de la bomba y, los elementos positivos que son montables y desmontables, en este caso toman el nombre de camisas. En ambos casos deben poseer paredes rectificadas y con un afinado especial (bruñido) puesto que esto garantiza la correcta película de lubricación de los segmentos y cilindro. Esto permite una buena resistencia a la fricción y por ende al desgaste.

Las camisas son elementos cilíndricos desmontables, que se colocan en las bases antes rectificadas del bloque del motor, al utilizar las camisas desmontables de acero, resistentes al desgaste, permite tener un block más liviano, como es la aleación de aluminio. En la figura 1.9. se muestra una camisa con ceja de resalte.

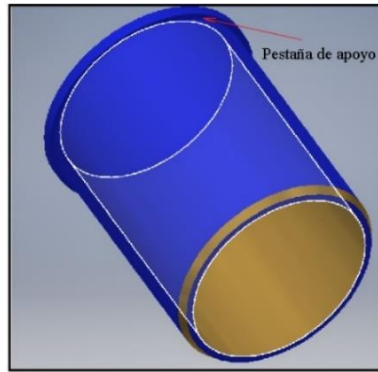


Figura 1.9. Camisa con pestaña de apoyo.

(Flores, 2005)

Las camisas deben presentar un bajo coeficiente de dilatación térmica debido a éstas son insertadas en el bloque de aleación de aluminio de la bomba, el cual, si no se da las propiedades térmicas y características de montaje adecuadas, este presenta desajuste (juego entre la pared y la camisa) con el tiempo extendido de uso o al momento de su montaje.

El cilindro o camisa por utilizar debe presentar una gran resistencia al desgaste. Un material que cumplen esta característica es la fundición ácido-resistente de alta aleación con estructura austenítica, con el grafito bien repartido para que este funcione de sistema de deslizamiento (lubricación) con el aceite y con una dureza determinada de 25 kg/mm^2 .

Existen dos tipos de camisas que son claramente determinadas para el uso en los blocks de las bombas la cuales son indicadas a continuación y se muestran ilustradas en la figura 1.10.

- **Camisas Húmedas:** Son elementos que forman una sola estructura en la carcasa y las mismas se encuentran en contacto directo con el sistema de refrigeración (agua o aceite)
- **Camisas Secas:** Este tipo de camisa se encuentra insertado en el interior del material resistente a la fricción, y es denominada seca debido a que no toma contacto directo con el sistema de refrigeración, sino que lleva un soporte exterior que aísla los dos medios.

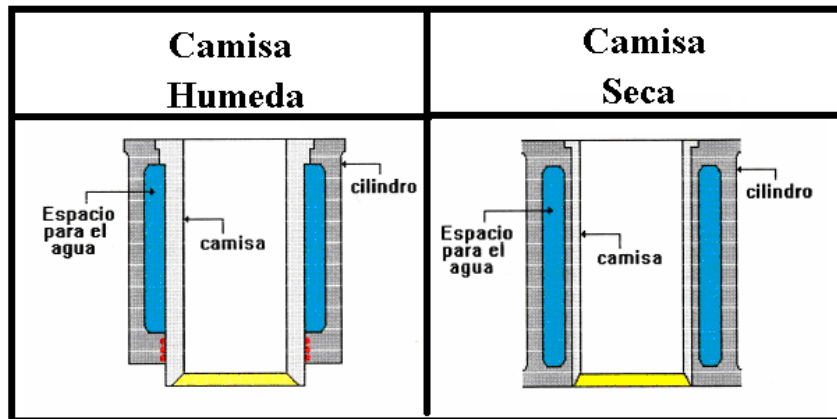


Figura 1.10. Tipos de camisas: a) Camisa seca con pestaña b) Camisa seca sin pestaña.
(Millares de Imperial & Villalta E., 2000)

La función de la camisa es el permitir que el pistón se deslice por medio de su estructura, obteniendo así un deslizamiento rectilíneo, uniforme y con la menor fricción posible, la misma que se consigue con una pequeña capa de aceite, que además garantiza mayor tiempo de vida útil.

1.3.3. Cigüeñal

El cigüeñal es el elemento de mayor importancia en un motor o en una bomba, puesto que permite el movimiento de la biela, y por consiguiente el movimiento de todo el sistema, por tal razón es el elemento encargado de transmitir la energía producida, como se puede apreciar en la figura 1.11. en la cual describe un cigüeñal con todos sus elementos constituyente, el codo mostrado en la figura toma el nombre de manivela o brazo de cigüeñal.



Figura 1.11. Partes del cigüeñal.
(Millares de Imperial & Villalta E., 2000, pág. 145)

Es el elemento que recibe los golpes de cada impulso y permite transmitir todo el esfuerzo permisible útil, y por tal razón, trabaja bajo diversas cargas posibles: torsión, flexión, compresión; y esfuerzos combinados de cortadura y vibración. Lo que produce la desalineación de los apoyos.

El cigüeñal transforma el movimiento rectilíneo uniforme de cada uno de sus codos en un movimiento circular uniforme, de tal manera que los codos indican el número de cilindros presentes en un bloque de la bomba, el mismo que está unido por medio de la biela y esta transmite el movimiento al pistón el cual se desliza por el cilindro con un movimiento longitudinal de desplazamiento cíclico a través del cilindro.

1.3.3.1. Características del orden de encendido

Para el orden de accionamiento de un motor o bomba se recomienda designar el número de cilindros presentes en la cámara y por consiguiente determinar el cilindro que se encuentra más pronto a el elemento de acción del volante. A continuación, en la tabla 1.2. se indica las características que presenta un cigüeñal dependiendo del número de cilindros, para su correcta acción.

Tabla 1.2. Características del cigüeñal en relación al orden de encendido.

# Cilindros	Fuerzas libres rotatorias	Fuerzas libres alternativas	Vuelco libre giratorio	Vuelco libre alternativo primer grado	Angulo °
1	1c	1,3 a	-	-	720
2	2c	2,6 a	-	-	360
3	-	-	1,7 p	1,7 m	240

(Millares de Imperial & Villalta E., 2000, pág. 159)

En la tabla 1.2. se determinan ciertos valores que significan:

- **c** Fuerza de inercia de la masa rotativa de un cilindro.
- **a** Valor máximo a lo largo de la fuerza de inercia de la masa alternativa de un cilindro.
- **p** Par de inercia rotativo entre cilindros consecutivos.
- **m** Par de inercia alternativo máximo entre cilindros consecutivos.

(Millares de Imperial & Villalta E., 2000)

1.3.4. Biela

La biela es el elemento que está destinado a transmitir al pistón la fuerza recibida del cigüeñal. Estos elementos de trabajo se encuentran sometidos a grandes esfuerzos de compresión, tracción y flexión. De tal forma que su fabricación se la realiza de materiales de gran resistencia y lo más ligeros posibles. La constitución de las bielas está determinada de la siguiente manera como se muestra en la figura 1.12.

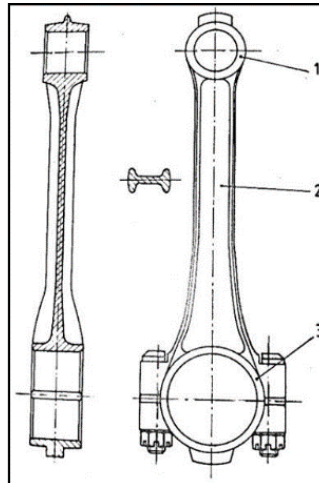


Figura 1.12. Partes de la biela.

(Millares de Imperial & Villalta E., 2000)

Tabla 1.3. Elementos constituyentes de biela.

Numeración	Elemento	Descripción
1	Pie de biela	Cojinete superior o pie de biela.
2	Vástago	El vástago o cuerpo que une los dos extremos.
3	Cabeza de biela	El cojinete inferior o cabeza de biela, que se halla partido en dos mitades y abraza el gorrón de la manivela del cigüeñal.

(Millares de Imperial & Villalta E., 2000)

El pie de biela es la parte constituyente que se aloja en el interior del émbolo y se tiene que ser de un solo elemento, en forma de cilindro completo.

El vástago es la parte constituyente que presenta una sección transversal en “T” y es diseñada de esta manera para resistir fácilmente esfuerzos a los que se encuentran sometido la biela sin darle alguna carga excesiva, además de presentar un costo económico de fabricación. La cabeza de biela, es la sección que se encuentra formada por un mayor ensanchamiento que el vástago, la cual abraza a la sección circular del cigüeñal y se completa con el medio cojinete postizo que se ha sujeta con tornillos.

La función del pistón consiste en conectar los componentes que trabajan en el sistema biela manivela, de tal forma que conecta el pistón con el cigüeñal permitiendo transmitir la fuerza recibida a través de la combustión producida en el pistón.

1.3.5. Émbolo o Pistón

El émbolo es un elemento constituyente que forma parte de la cámara de combustión. Permite transmitir la presión generada en la cámara, la cual actúa sobre su eje y biela. Esta fuerza generada presenta dos efectos: primer efecto, movimiento de la biela hacia abajo y giro del cigüeñal, el otro efecto que empuja el émbolo contra la pared del cilindro, el mismo que sirve de guía. En el caso de las bombas recíprocantes de triple émbolo se tiene que tomar en cuenta la relación de carrera/diámetro. La relación de motores rápidos los cuales toman el nombre de cuadrados o chatos porque esa relación vale aproximadamente uno. En cambio, los motores lentos se acercan mucho el valor de dos, los cuales presentan el doble de carrera respecto al diámetro del émbolo.

La función primordial del émbolo, es de establecer una pared móvil entre la cámara y el émbolo, permitiendo describir un movimiento longitudinal, en el movimiento alternativo y cíclico a través del cilindro produciendo el accionamiento de la bomba. A continuación, se describirá el funcionamiento de un émbolo por medio del accionamiento de una biela manivela.

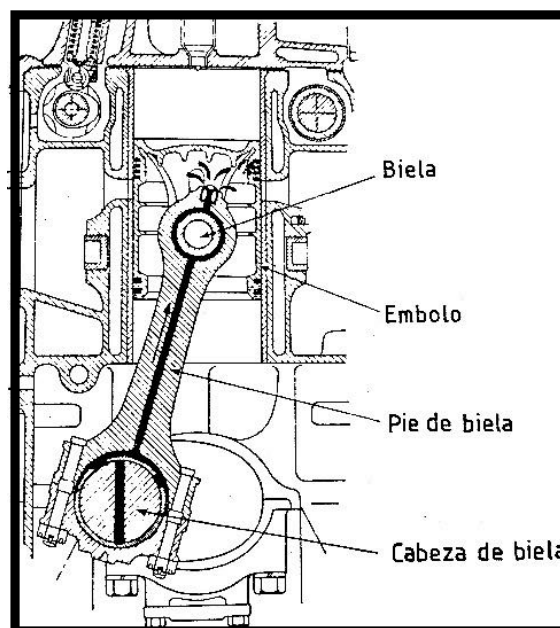


Figura 1.13. Émbolo de motor enfriado rápidamente por sistema de lubricación de aceite.
(Millares de Imperial & Villalta E., 2000)

1.4. Ensamble

El ensamble mecánico es el recurso que permite juntar varios elementos por medio de diferentes procesos de sujeción permitiendo la unión de dos o más partes. El ensamble se lo realiza en la mayoría de veces por medio de sistemas de equipos separados (sujetadores), los cuales son incorporados.

En el ensamble influyen una serie de aspectos técnicos que tienen que ser tomados en consideración tales como los menciona Riva. (Riva Romeva, 2002, pág. 153)

a) Manejo de elementos y componentes:

- a1) Identificación de un elemento o componente.
- a2) Especificación de la zona de presión.
- a3) Ejecución de la operación de presión.
- a4) Movimientos de posicionamiento y de orientación.

b) Estructura de elementos y de componentes:

- b1) Posicionamiento de piezas.
- b2) Inserción (eje en cojinete, corredera en una guía).
- b3) Posicionamiento de cables y conducciones.
- b4) Carga de recipientes y depósitos (engrase, líquidos, gases).

c) Unión de piezas y de componentes:

- c1) Uniones desmontables (roscadas, pasadores, chavetas).
- c2) Encaje por fuerza (calado de piezas, unión elástica).
- c3) Uniones por deformación (remaches, rebordonado).
- c4) Uniones permanentes (soldadura, encolado).

d) Operaciones de ajuste:

- d1) Corrección de piezas (aristas vivas, lima, ajuste por deformación).
- d1) Operaciones de ajuste mecánico (conos, micro ruptores).
- d2) Operaciones de ajuste eléctrico (potenciómetros, condensadores).

e) Operaciones de verificación:

- e1) Puesta a punto (regulaciones, inicialización informática).
- e2) Verificación de la funcionalidad del producto.

En esta lista de los aspectos técnicos descrita por Riva determina que la operación de protocolo de pruebas y puesta a punto no necesariamente corresponderían al ensamblaje de un elemento mecánico, pero se las considera puesto que se encuentran íntimamente enlazadas entre sí para obtener el producto. Por tal razón es necesaria incluirlas en este listado. De tal forma del listado mencionado se profundizará en los puntos de mayor importancia en un ensamble como se describe a continuación.

1.4.1. Componente base

El componente base es aquel donde se referencia el montaje del equipo, es el componente donde se realiza la unión de la mayor parte de piezas que conforman el mecanismo, en general, en las bombas de desplazamiento positivo la carcasa es siempre el componente base de la bomba. Este elemento permite, en general, tener un punto de referencia para el ensamblaje de los componentes constituyentes (punto de partida) además que el mismo permite darle al sistema mayor rigidez y facilidad de montaje de los elementos.

1.4.2. Elementos de montaje

Para ensambles con gran número de elementos de montaje, mayores a 20 por sección (estructura, colocación, orden, unión permanente, semipermanente), debe considerarse, varios elementos base en base a los cuales se desarrollen las secciones, y llegar al ensamble final de la máquina.

Para lo cual se empieza con la sección con mayor número de elementos (Inicio de ensamble), luego la sección que tenga un menor número de elementos, así sucesivamente. El orden de montaje no está preestablecido, solo se debe considerar la facilidad de la unión y conexión de los elementos, tomando en prioridad las piezas de mayor facilidad de inserción y manipulación.

1.4.3. Unión y conexión

El sistema de unión tiene suma importancia en el ensamble de un equipo, debido a que abarca la preparación, montaje de los elementos, tiempo de montaje y costo de servicio. Se debe tener en cuenta que las uniones y conexiones constituyen elementos primordiales en la obtención de un producto, por lo cual se muestra a continuación dos grupos de uniones:

a) Uniones desmontables

Este proceso permite separar los dos o más elementos con facilidad, sin la necesidad de fracturar el medio de unión, ni el elemento de unión.

b) Uniones permanentes

Es el proceso con el cual el elemento se lo considera de una sola vida útil con la maquina o estructura, en general, se toma este medio por seguridad o por demanda del diseño. Para la separación de este tipo de elementos se debe romper la unión y descomponer las piezas de unión.

c) Uniones para el montaje fácil

Este tipo de diseño esta dado para montajes versátiles, es decir, para montajes de gran producción donde la facilidad y rapidez es indispensable.

d) Uniones para el desguace

Este tipo de diseño están destinadas para un montaje y desmontaje, simple y rápido, de tal forma que por este tipo de unión se permite el reciclaje de sus elementos

1.4.4. Acabados superficiales

El acabado superficial de los elementos que constituyen un mecanismo presenta diferentes tipos de rugosidad las mismas que se determina de acuerdo al tipo de trabajo que realice la superficie en contacto, en general, la calidad del elemento obtenido debe ser acorde al trabajo a realizar, el mismo que debe ir a la mano de su costo de procesamiento.

El diseño de un elemento mecánico tiene que determinar el tipo de proceso más económico, el mismo que supla el tipo de superficie necesario para el trabajo óptimo del mecanismo, de tal manera, que el tipo de acabado superficial tiene que satisfacer la necesidad del medio a trabajar. Los acabados, más utilizados en la industria para la obtención de bombas es por medio del mecanizado debido a su bajo costo, y alto rango de tolerancias que presentan. A continuación, en la figura 1.14 y 1.15 se describe un cuadro con los acabados superficiales obtenidos por varios medios de fabricación y en el anexo 1 se encuentra descrito de una manera más concisa.

Proceso	Rango de tolerancia (mm)	Acabado típico de la superficie	Rango de rugosidad (um)	Tipo de energía utilizada
Fundición:				
Fundición en molde	± 0.005	Bueno	1-2.	Térmica
Fundición en arena	± 0.050	Pobre	12-25.	Térmica
Revestimiento	± 0.020 Al	Bueno	1.5-3	Térmica
Mecanizado:				
Torneado	± 0.030	Bueno	0.5-6	Mecánica
Fresado	± 0.080	Bueno	1-6.	Mecánica
Taladrado	± 0.130	Mediano	1.5-6	Mecánica
Aserrado		Pobre	3-25.	Mecánica
Cepillado		Mediano	1.5-12	Mecánica

Figura 1.14. Relaciones entre procesos, acabado superficial y rugosidad.

(Rodríguez, Castro, & Real, 2006)






Ra máxima (μm)	Clase de rugosidad	Rugosidad DIN 140 (muy antiguos)	Tipo	Ejemplos de aplicación
50 25	N12 N11		Sin arranque de material	Fundición en arena, por deformación en caliente
12.5 6.3	N10 N9		Operaciones de desbaste	Mecanizado en desbaste
3.2 1.6	N8 N7		Operaciones de intermedias (Pasadas de acabado)	Frenos y de disco embragues
0.8 0.4	N6 N5		Operaciones de acabado (Escariado, rectificado)	Cojinetes de fricción
0.2 0.1	N4 N3		Operaciones de superacabado (rectificado fino, bruñido)	Cilindros hidráulicos
0.05 0.025	N2 N1		Operaciones especiales (lapeado)	Bolas de rozamiento

Figura 1.15. Tabla de rugosidades y equivalencias.

(Rodríguez, Castro, & Real, 2006)

1.4.5. Tolerancias

En el diseño se toma en consideración el tipo de ajuste que se quiere obtener entre dos o más elementos y esto va de la mano con el tipo de tolerancia que se brinde, en general, la tolerancia sirve para asegurar la inserción entre las piezas.

El grado de precisión con el cual se requiere un elemento es dado de acuerdo al tipo de ajuste el cual puede ser en apriete, deslizante o en juego (giratorio), este será

determinado de acuerdo al tipo de función mecánica que el componente realice en el sistema de piezas de conexión. Cuan mayor sea la tolerancia, más disminuye la precisión, de tal manera que existe mayor tolerancia admisible. En el diseño se debe tomar en cuanto la facilidad de obtener una tolerancia, debido a que cuan mayor sea, la tolerancia mayor es la dificultad de obtener la misma por medio de un procesamiento y por ende el costo de realización es más alto. El valor obtenido después del procesamiento, se define como campo de tolerancia donde la imprecisión del mecanizado es admisible, determina la diferencia entre dimensiones (límites superior e inferior) donde pueden varias una dimensión sin arriesgar su funcionalidad del mecanismo y la intercambiabilidad del elemento dado. Como se indica en la figura 1.16.

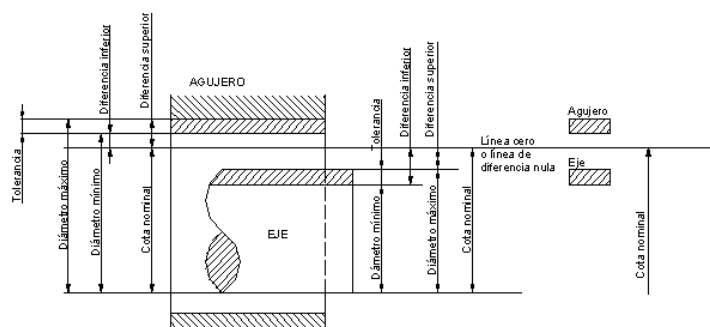


Figura 1.16. Campo de tolerancias.
(Rodriguez, Castro, & Real, 2006)

Los tipos de tolerancias determinadas para el tipo de función del elemento eje único o agujero único se muestran con mayor detalle en el anexo 2.

1.5. Pruebas

El protocolo de pruebas que se realiza a las bombas suelen ser medios que permiten verificar y validar el óptimo funcionamiento, como la determinación de las especificaciones técnicas de la máquina. A continuación, se indica el tipo de pruebas realizadas por el fabricante.

- Pruebas de funcionamiento.
- Pruebas Hidrostáticas.
- Prueba de capacidad de carga.
- Pruebas de potencia.

1.5.1. Pruebas de funcionamiento

Las pruebas de funcionamiento son aquellas que permiten determinar el correcto funcionamiento del gasto, carga y potencia de la bomba de prueba la cual se puede obtener mediante las curvas características de la misma.

Las pruebas se las realiza con o sin un testigo por parte del cliente, el cual si contara con la presencia de un inspector que asegura que se cumplan con las características técnicas de la máquina. Se debe verificar los siguientes parámetros antes de la puesta a prueba de equipo:

- Verificar alineación y balanceo de la bomba y motor.
- La dirección de la rotación del motor.
- Instalaciones eléctricas.
- Líneas de lubricación.
- Claro entre anillos de desgaste.
- Verificar los conductos de lubricación. (Zubicaray & Alvarez, 2003, pág. 201)

1.5.2. Prueba Hidrostática

La prueba hidrostática es aquella que asegura que no se presente ningún tipo de fugas de líquido en toda la constitución de sus partes. Consiste en someter al dispositivo mecánico a prueba, se coloca el elemento en contacto directo con un líquido a presión. En la bomba los elementos más evaluados son la carcasa, la cabeza de succión, separador, cámaras, etc. La prueba se la realiza introduciendo agua a presión y manteniendo en un determinado periodo de tiempo (Dentro del rango de 10 minutos), por tal razón si presenta una fuga se manifiesta enseguida. (Zubicaray & Alvarez, 2003)

1.5.3. Prueba de carga

La prueba de carga consiste en colocar varios tipos de flujos de líquido que circulen por la bomba y verificar su funcionamiento, a través de la presión generada en el sistema.

1.5.4. Pruebas de Potencia

Para la determinación de la potencia en una bomba, se determina en primera instancia la potencia que distribuye el motor o fuente de energía.

CAPITULO II

2. DISEÑO DE DETALLE

FABRICACIÓN, ENSAMBLE Y PROTOCOLO DE PRUEBAS

2.1. Introducción

En el presente capítulo se indica los procesos de fabricación de los elementos principales y secundarios constituyentes de la bomba, cuenta con la obtención de los elementos normalizados, así como del montaje de los diferentes subsistemas, sistemas y piezas mecánicas que conforman la bomba reciprocante de triple émbolo, también se indica un protocolo de pruebas de la máquina obtenida para la comprobación de su correcto funcionamiento.

La construcción de los elementos constitutivos de la bomba se lo realiza a través de un rediseño de los elementos de acuerdo a los planos de taller y de los elementos normalizados que se encuentran detallados en los planos de montaje.

El taller de producción utilizado cuenta con las máquinas necesarias para el mecanizado de cada uno de los elementos de la bomba con los requerimientos necesarios para su funcionamiento, así como del recurso humano calificado.

Los elementos normalizados se obtuvieron a través del mercado nacional y con su respectivo stock, garantizando que los mismo cuenten con las características técnicas adecuadas para el funcionamiento del equipo.

2.2. Elementos constituyentes de bomba

En la tabla 2.1 se muestra los elementos constitutivos de la bomba, la misma que se muestra de una manera más detallada. Así como también los materiales y procesos de fabricación de la misma.

Tabla 2.1. Elementos constituyentes de la bomba triplex.

#	Cantidad	Elemento	Proceso de obtención	Material
1	1	Cigüeñal	Fundición y mecanizado	Fundición Nodular
2	3	Biela	Fundición y mecanizado	Fundición Nodular
3	2	Tapas de base	Fundición y mecanizado	Fundición Nodular
4	3	Pistones	Fundición y mecanizado	Bronce al aluminio
5	3	Cámaras	Fundición y mecanizado	Bronce al aluminio
6	1	Carcasa	Fundición y mecanizado	Aluminio
7	1	Separador	Fundición y mecanizado	Aluminio
-	1	Tapa Principal (carcasa)	Fundición y mecanizado	Aluminio
-	1	Tapa Secundaria (separador)	Fundición y mecanizado	Aluminio
8	3	Camisas	Mecanizado	Fundición Gris(austenítica)
9	3	Prensa estopas aceite	Mecanizado	Aluminio
10	3	Prensa estopas agua	Mecanizado	Grilon
11	3	Inyector	Mecanizado	Acero Inoxidable
-	3	Pasadores (pistón embolo)	Mecanizado	Acero bonificado
12	2	Rodamientos	Normalizado	E. Normalizado
13	2	Retenedores	Normalizado	E. Normalizado
14	3	Brida de Descarga	Mecanizado	Acero A-36
15	3	Brida de Succión	Mecanizado	Acero A-36
16	3	Válvula de succión	Normalizado	E. Normalizado
17	3	Válvula de descarga	Normalizado	E. Normalizado

(Fuente propia)

En la figura 2.1. se observa los elementos que constituyen la bomba triplex, mostrando de manera muy detallada su conformación y conexión.

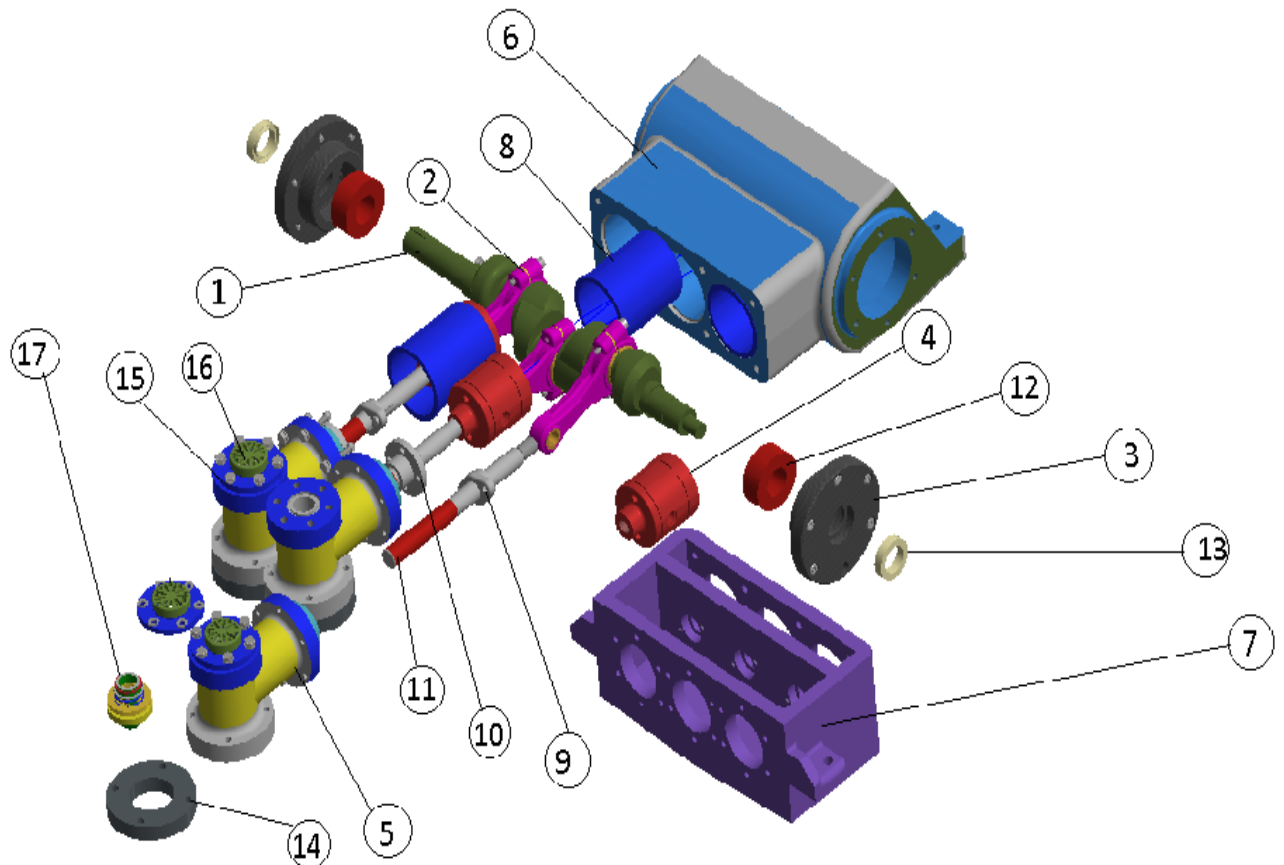


Figura 2.1. Desmontaje de la bomba triplex
(Fuente propia)

2.3. Planos de fabricación

Los elementos constituyentes de la bomba triplex, fueron fabricados de acuerdo a los planos de taller, además de indicar los elementos normalizados que se encuentran detallados en los planos de montaje como se indica en el Anexo 3.

2.4. Hojas de Procesos

En esta sección se detallarán las máquinas y herramientas utilizadas en el área de trabajo, para el mecanizado de los componentes de la bomba reciprocante de triple émbolo. En donde se describirá todos los parámetros técnicos de la maquinaria utilizada desde: la procedencia, la funcionalidad y las velocidades de corte. Este punto es primordial para la obtención de las hojas de procesos de los elementos mecanizados.

2.4.1. Máquinas Herramientas

Las máquinas utilizadas en la fabricación de la bomba triplex son: La fresadora universal, tornos paralelos, limadora, taladro, soldadora multiproceso. Como se muestra a continuación, las mismas que presentan todas sus características técnicas.

2.4.1.1. Fresadora Universal

- 1) Procedencia: italiana.
- 2) Marca: G. Zinelli.
- 3) Velocidades de corte.

Tabla 2.2. Velocidad de corte de la fresadora universal.

RPM	[rev/min]	Fase A	30	38	50	65
RPM	[rev/min]	Fase B	85	110	140	180
RPM	[rev/min]	Fase C	235	300	385	500

(Fuente: Propia)

- 4) Fotografía de fresadora universal

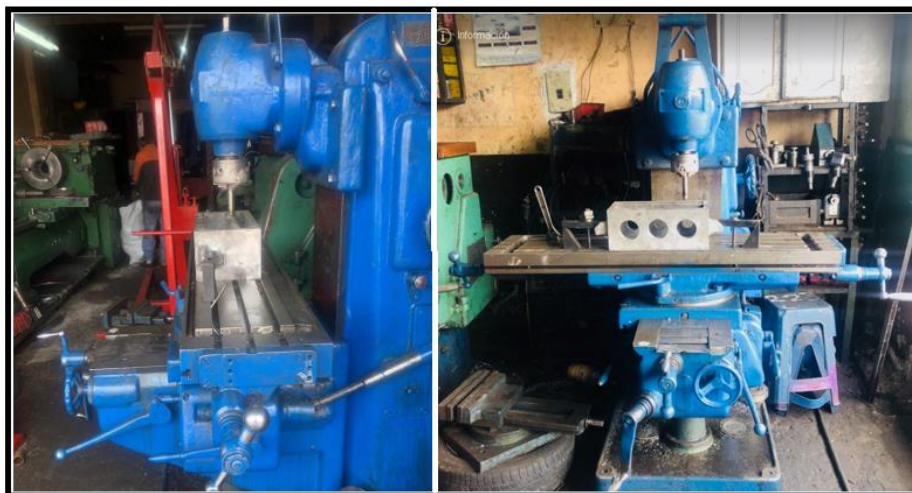


Figura 2.2. Fresadora universal (funcionalidad vertical).

(Fuente: Propia)

2.4.1.2. Torno paralelo Géminis

- 1) Procedencia: española.
- 2) Marca: Géminis.
- 3) Velocidades de corte

Tabla 2.3. Velocidad de corte Torno Géminis

RPM	[rev/min]	Fase A	20	26	33	42	54	69
RPM	[rev/min]	Fase B	88	112	144	184	236	302
RPM	[rev/min]	Fase C	386	495	633	810	1038	1325

(Fuente: Propia)

4) Fotografía torno paralelo Géminis



Figura 2.3. Torno Paralelo Géminis.
(Fuente: Propia)

2.4.1.3. Torno paralelo

- 1) Procedencia: española.
- 2) Marca: H. Ernault. Samua .
- 3) Velocidades de corte.

Tabla 2.4. Velocidad de corte del Torno H. Ernault. Samua.

RPM	[rev/min]	Fase A	8	10	25	40	50	60
RPM	[rev/min]	Fase B	80	100	125	160	350	400
RPM	[rev/min]	Fase C	500	630	800	1000	1250	1400

(Fuente: Propia)

4) Fotografía torno paralelo H. Ernault Samua



Figura 2.4. Torno Paralelo H. Ernault. Samua.
(Fuente: Propia)

2.4.1.4. Limadora

- 1) Procedencia: Inglaterra.
- 2) Marca: New Alva I.A.
- 3) Velocidades de corte

Tabla 2.5. Velocidad de corte de la limadora.

SPM	[Golpes/min]	40	55	75	100
-----	--------------	----	----	----	-----

(Fuente: Propia)

- 4) Fotografía de Limadora



Figura 2.5. Limadora.

(Fuente: Propia)

2.4.1.5. Taladro

- 1) Procedencia: brasileña.
- 2) Marca: JACOB DRILL PRESS.
- 3) Velocidades de corte

Tabla 2.6. Velocidad de corte de taladro pedestal.

RPM	[rev/min]	2510	1540	1060	630	390	140
Dimensión	mm	3	4	6	10	16	25

(Fuente: Propia)

4) Fotografía de taladro de Pedestal



Figura 2.6. Taladro de Pedestal.

(Fuente: Propia)

2.4.1.6. Soldadura

- 1) Procedencia: E.U.
- 2) Marca: Lincoln Electric.
- 3) Características técnicas:
 - Soldadura multiprocesos inverttec.
 - Soldadura SMAW, GTAM, GMAW, FCAW.
 - Voltaje de 350V PRO.

4) Fotografía Soldadora Lincoln Electric.



Figura 2.7. Soldadura multifunción 350 PRO.

(Fuente: Propia)

2.5. Parámetros de corte

En esta sección se estudiará, analizará y se determinará los parámetros de corte, adecuados para la fabricación de los componentes de la bomba triplex a través de procesos de manufactura en materiales metálicos. Donde se determinará el tipo de herramienta de corte óptima para cada tipo de material a mecanizar y se indicará los parámetros principales de trabajo los cuales son:

- 1) Velocidad de corte.
- 2) Velocidad de avance.
- 3) Tiempo de mecanizado.

2.5.1. Velocidad de corte

La velocidad de corte o velocidad de salida es aquella que permite determinar la cantidad de viruta desprendida linealmente por cada minuto del proceso realizado. La velocidad de corte se determina tanto para procesos de arranque de viruta rotativos (torneado, perforado), como longitudinales (fresado, limado). La unidad de medida está dada por m /min, en tal caso, se determina la velocidad relativa puesto que presenta dos casos:

- Herramienta Móvil/Pieza Fija.
- Herramienta Fija/ Pieza móvil.

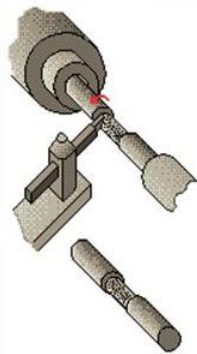
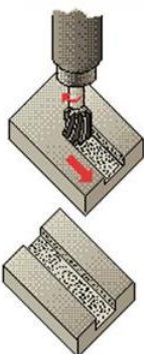
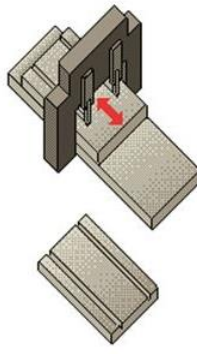
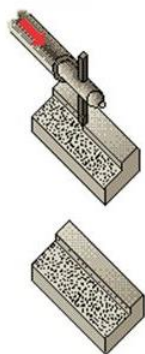
Herramienta fija / Material móvil	Herramienta móvil / Material fijo		
 <p style="text-align: center;">Torno</p>	 <p style="text-align: center;">Fresadora</p>	 <p style="text-align: center;">Cepilladora</p>	 <p style="text-align: center;">Perfiladora</p>
1.- Torneado exterior 2.-Torneado interior 3.-Mandrinado exterior 4.- Mandrinado interior	1.- Fresado periférico 2.- Fresado Frontal 3.- Taladrado 4.-Rectificado 5.- Rimado, Escariado, aserrado.		

Figura 2.8. Velocidad de corte para movimientos rotativos en las maquinas herramientas.

(Rodriguez, Castro, & Real, 2006)

La velocidad de corte dada para el torno, la fresadora, el taladro, la mandrinadora, la rectificadora y la sierra. Presenta la siguiente formula.

$$v = \frac{\pi \times d \times n}{1000} \left[\frac{m}{min} \right]$$

Ecuación 2.1 Velocidad de corte.

(Velastegui, 2013)

Donde:

V = Velocidad de corte (Este valor se encuentra en tablas)

Nota: En la velocidad de corte se toma en cuenta varios factores que intervienen en la cantidad de material desprendido los cuales son:

1. Tipo de maquinaria.
2. Materia prima (Propiedades, composición química).
3. Material de la herramienta de corte.
4. Sistema de refrigeración.

De tal manera que las velocidades de corte se obtienen de valores tabulados dependiendo del tipo de herramienta de corte a utilizar, como del tipo de material a ser mecanizado como se describe en el anexo 4 de los diferentes tipos de corte.

2.5.2. Velocidad de avance

El movimiento de avance de la herramienta de corte es la que determina la velocidad de avance **Va** en las máquinas herramientas, se expresa en [mm/min] para máquinas con movimiento rotativo y para máquinas de movimiento longitudinal se expresa en [mm/golpe].

El tipo de velocidad de avance dado, determina el tipo de acabado superficial en el elemento mecanizado, debido a que este varía dependiendo si se desea devastar o pulir la superficie de trabajo y este medio es primordial para determinar el tiempo de mecanizado el cual está ligado directamente con los costos de fabricación.

$$Va = s * n$$

Ecuación 2.2. Velocidad de avance.

(Velastegui, 2013)

Donde:

V_a = Velocidad de Avance. [mm/min]

S = Avance de la pieza o herramienta. [mm/rev]

n = Numero de RPM de la pieza o herramienta. [rev/min]

2.5.3. Tiempo de mecanizado

El tiempo de mecanizado es un aspecto de suma importancia puesto que permite determinar el tiempo necesario para la obtención de un elemento mecánico y por lo tanto preestablecer el costo de fabricación de una pieza.

Los tiempos de fabricación de elementos mecánicos se dividen en tres grupos: tiempo de preparación de la máquina, tiempo de maniobra y tiempo de mecanizado.

1. Tiempo de preparación de la máquina (TP)

Es el tiempo que se necesita para adecuar la máquina herramienta antes de realizar el trabajo a efectuarse, el cual se detalla en la tabla 2.7 a continuación:

Tabla 2.7. Tiempos de preparación de máquina.

Máquina Herramienta	Tiempo [min]
Tornos Cilíndricos Medianos	30
Tornos Cilíndricos medianos	45
Tornos verticales	60
Fresadoras Universales	45
Limadoras	30
Rectificadoras	30
Taladros	15
Mandrinadoras medianas	45
Mandrinadoras grandes	45

(Fuente: Propia)

2. Tiempo de maniobra (TM)

Es el tiempo que se necesita para realizar los procesos de medición, cambio de herramientas, acercar y alejar la herramienta. Este valor se estima por medio de la experiencia del operador.

3. Tiempo de mecanizado [T]

Es el tiempo en el cual se realiza el mecanizado por arranque de viruta, es decir, el tiempo en que la herramienta y la pieza se encuentran en contacto, se calcula con la siguiente fórmula.

$$T = \frac{L}{Va} * i \text{ [min]}$$

Ecuación 2.3 Tiempo de mecanizado.
(Velasategui, 2013)

Donde:

$T =$ Tiempo de mecanizado.

$i =$ Número de pasadas.

$Va =$ Velocidad de avance [mm/min].

$L =$ longitud de trabajo [mm].

2.6. Cálculos

2.6.1. Velocidad de corte

2.6.1.1. Inyector

Datos:

Proceso de mecanizado: Torneado cilíndrico

Diámetro= 32 [mm]

$v = 95$ [m/min]

1) Velocidad de Corte

Nota: Dato obtenido en el anexo 4 en la tabla de velocidad de corte, para acero aleado y desbastado con cuchilla de widia.

$$v = \frac{\pi \times d \times n}{1000} \left[\frac{m}{min} \right]$$

$$n = \frac{v \times 100}{\pi \times d}$$

$$n = \frac{95 \times 1000}{\pi \times 32}$$

$$n = 945 \text{ RPM}$$

Se pasa a revisar las revoluciones por minuto normalizadas del torno Géminis y seleccionamos la velocidad más cercana de la tabla, siempre tomando en consideración la menor RPM de los valores dados. De tal manera se tiene el siguiente valor:

$$n = 810 \text{ RPM}$$

2) Velocidad de avance

$$V_a = s * n$$

$$n = 810 \text{ [RPM]}$$

$$s = 0.036 \left[\frac{\text{rev}}{\text{min}} \right]$$

Nota: este valor se obtiene de la tabla prevista en el anexo 4 y se determina con ayuda del tipo de material, herramienta de corte utilizada y velocidad de corte seleccionada.

$$V_a = 0.036 \left[\frac{\text{mm}}{\text{rev}} \right] * 810 \left[\frac{\text{rev}}{\text{min}} \right]$$

$$V_a = 29.1 \text{ [mm/min]}$$

3) Tiempo de mecanizado

$$T_t = T_m + T_p + T$$

Donde:

$$T_p = 30 \text{ [min].}$$

Nota: seleccionado para un torno de cilindro mediano (Torno géminis).

$$T_m = 10 \text{ [min].}$$

Nota: el tiempo de maniobra para la obtención del inyector (experiencia propia).

$$T = \frac{L}{V_a} * i \text{ [min]}$$

Donde:

$L = 270$ [mm].

$V_a = 29.1$ [mm/min].

$i = 8$ pasadas (7 de 1 mm y dos de 0.5mm)

$$T = \frac{270}{29.1} * 8 \text{ [min]}$$

$$T = 58.44 \text{ [min]}$$

$$T = 30[\text{min}] + 10[\text{min}] + 58.44[\text{min}]$$

$$T = 98.44 \text{ [min]}$$

$$T = 1[\text{h}] \text{ y } 38 \text{ [min]}$$

2.6.2. Parámetros de corte

A continuación, se determina los parámetros de corte utilizados para la mecanización de un elemento de la bomba triplex, en este caso el cigüeñal.

1) Cigüeñal

Material: Hierro Nodular

Herramienta de corte: HSS

Tabla 2.8. Parámetros de corte del cigüeñal.

Operación	# de pasadas	Vel. de corte	RPM	Avance	Tiempo	Tiempos totales
		m/min	rev/min	mm/V	Min	min
Refrentar(luneta)	2	30	144	0,25	10	20
Perforar Centros (luneta)	2	60	236	1	8	16
Cilindrar $\varnothing 30$ a $\varnothing 35$	4	30	236	0,25	30	120
Cilindrar $\varnothing 30$ a $\varnothing 35$	2	30	236	0,25	15	30
Fresar Chaveteros	1	25	150	0,1	30	30
Cilindrar $\varnothing 40$ a $\varnothing 50$	3	30	194	0,25	30	90
Rectificar $\varnothing 40$ a $\varnothing 50$	3	30	236	0,05	40	120
Tiempos muertos						58
Tiempo						484

(Fuente propia)

En la tabla 10 se muestra los parámetros de corte para el mecanizado del cigüeñal, de tal manera que los parámetros de corte para los demás elementos que conforman la bomba triplex se muestran en las hojas de procesos, las mismas que se encuentra detalladas en el anexo 5.

2.7. Manufactura de componentes de la bomba

En esta sección se determinará los procesos de manufactura y los parámetros primordiales utilizados para el maquinado de los elementos de la bomba, se especifica las hojas de procesos, tipos de mecanizados, acabado superficial y tolerancia utilizada.

Para la obtención de los elementos se debe cumplir con varios parámetros para garantizar que el elemento mecanizado tenga las dimensiones, formas, ajustes y acabados superficiales. A continuación, se describe los parámetros necesarios del mecanizado.

Parámetros de mecanizado

El mecanizado debe contar con las siguientes disposiciones:

- Área de mecanizado.
- Área de ajuste.
- Hoja de procesos.
- Respaldos.

1. Área de mecanizado

El área de mecanizado representa todas las máquinas necesarias para la obtención de cada una de las partes de la bomba, además de las herramientas de corte primordiales para la realización del mecanizado por arranque de viruta.

2. Área de ajuste

El área de ajuste representa el control de las medidas nominales y ajustes dados en los planos de taller, para cada uno de los componentes que conforman la bomba. Este punto es de suma importancia puesto que permitirá el correcto montaje y por ende el correcto funcionamiento del mecanismo de la bomba.

2.7.1. Carcasa

La carcasa es de aleación de aluminio, la cual fue obtenida por un proceso de fundición inicial, este elemento es de suma importancia para la constitución de la bomba, puesto que es el elemento base de la bomba. Para su mecanizado por arranque de viruta se realizó varios rediseños, debido a las desviaciones presentes en los cilindros, las mismas que fueron dadas en la fundición. Se contó con la ayuda de varios útiles y herramientas para el mecanizado de la carcasa, debido a la complejidad del mecanizado. El proceso de obtención del elemento se muestra a continuación.

1) Área de mecanizado

Tabla 2.9. Descripción del proceso de mecanizado de la carcasa.

#	Máquina	Acoples	Herramientas	Proceso realizado	Ac. superficial
1	Torno	Porta cuchillas exteriores	Cuchilla de acero rápido (Punta trapezoidal)	Torneado lateral de bases	N7
		-	Cuchilla para interiores de acero rápido	Torneado interior de tapas	N7
2	Fresadora	Bailarina		Planeado de superficies	N7
		Porta brocas	Fresa de vástago	Fresado plano	N8
		Bailarina interior	Cuchilla de 3/8" HSS	Fresado interior	N8
3	Rectificadora	Bailarina de interiores	Cuchilla con incrustación de widia	Rectificado cilindros	N6
3	Taladro	Porta brocas	Broca 1/4"	Perforado	N10
4	N/A	Gira machos	Machuelo M8x1,5	Roscado	-

(Fuente: Propia)

2) Área de ajuste

Tabla 2.10. Instrumentos de control de la carcasa.

#	Instrumento de medición
1	Calibrador pie de rey
2	Calibrador pie de rey digital
3	Micrómetro de interiores
4	Compas de interiores y exteriores
5	Flexómetro

(Fuente: Propia)

3) Descripción del proceso de mecanizado

En esta sección se describirá los pasos a seguir para el mecanizado de la carcasa.

- Eliminación de aristas vivas en toda la superficie de la carcasa (Previstas en la fundición).
- Verificación de dimensiones en bruto de planos de taller (sobredimensionamiento).
- Refrentar la cara sección A (punto de apoyo de tapa A).
- Cilindrado exterior de sección A.
- Cilindrado interior de sección A.
- Verificar dimensiones sección A, calibrador pie de rey.
- Refrentado de cara sección B (punto de apoyo de tapa B).
- Cilindrado exterior de sección B.
- Cilindrado interior de sección B.
- Verificar dimensiones sección B, calibrador pie de rey.
- Planear de caras laterales de soporte C y D.
- Planear la superficie de suministro de aceite (Cara E).
- Planear la superficie de cilindros (Cara F).
- Fresado longitudinal de cilindro1, acabado superficial basto.
- Fresado longitudinal de cilindro2, acabado superficial basto.
- Fresado longitudinal de cilindro3, acabado superficial basto.
- Verificar dimensiones de cilindros, calibrador pie de rey.
- Rectificar cilindro 1, tolerancia de ajuste de 0.05 mm.
- Rectificar cilindro 2, tolerancia de ajuste de 0.05 mm.
- Rectificar cilindro 3, tolerancia de ajuste de 0.05 mm.
- Verificar dimensiones de los cilindros, calibrador pie de rey digital y micrómetro de interiores.
- Señalar perforaciones (tapas).
- Perforar en cara sección A y B (Seis perforaciones simétricas de 1/4").
- Roscar en soporte de tapas a 5/16G (tapas A y B en las 6 perforaciones).
- Señalar perforaciones (carcasa/separador).
- Perforar en cara E, sección de cilindros. Para espárragos de ensamble con separador (8 perforaciones).
- Roscar 7/16 G sección cilindro.
- Perforar en superficie de suministro con broca 5mm (Cara E, 12 perforaciones).
- Roscar M6x1 (las 12 perforaciones).

- Eliminar aristas vivas de mecanizado.
- Verificación y control de dimensiones.

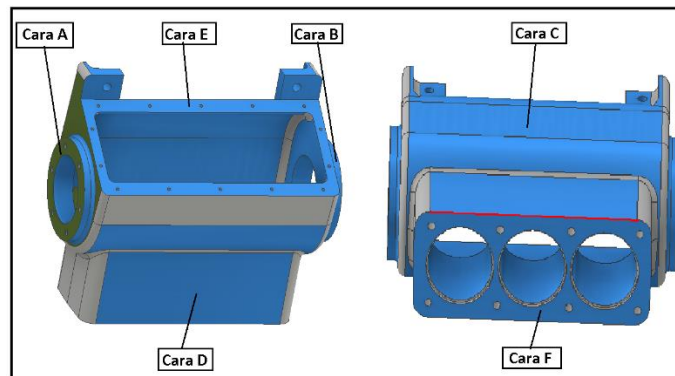


Figura 2.9. Denominación de mecanizado de carcasa.
(Fuente propia)

4) Hoja de procesos

La hoja de procesos del mecanizado de la carcasa se encuentra descrita en el anexo 5.

5) Fotografías del mecanizado de la carcasa

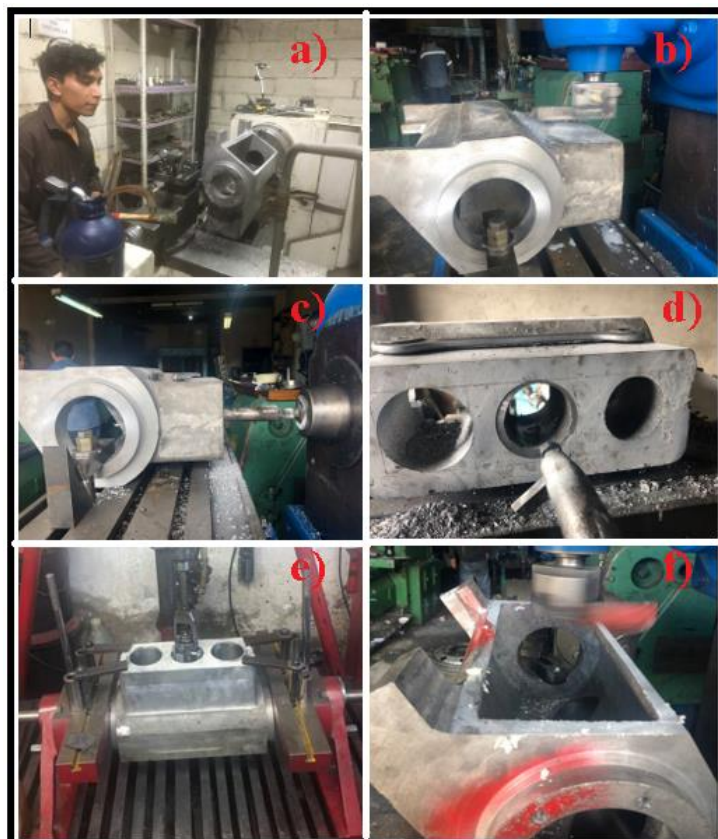


Figura 2.10. Mecanizados de Carcasa: a) Cilindrado de caras, b) Planeado, c) y d) Fresado Longitudinal, e) Rectificado (Mandrinado), f) Planeado lateral.
(Fuente: Propia)

2.7.2. Separador

El separador es de aleación de aluminio, la cual se obtuvo por medio del proceso de fundición, en este elemento se observa varios defectos de fundición en su estructura visibles, previstos antes del mecanizado. El mecanizado a este elemento se lo realiza con diversas máquinas, herramientas y útiles de mecanizado, los mismos que facilitaron su obtención del elemento terminado. Este elemento constituye el separador de los fluidos, del sistema de lubricación (aceite, carcasa) y sistema de bombeo (agua, cámaras).

2.7.2.1. Herramientas y útiles del mecanizado.

Para el mecanizado del separador se contó con la ayuda de un útil de mecanizado, el cual es el acople de cámaras/separador como se indica en la figura 2.11 explícitamente para la realización de las perforaciones de los elementos de sujeción de las cámaras. De tal manera que el acople dispuesto se encuentra detallado en el anexo 6.

2.7.2.1.1. Acople de cámaras / separador.

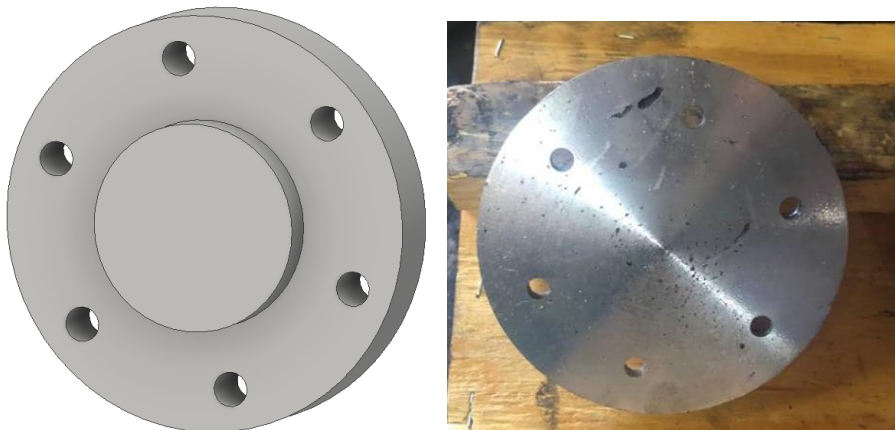


Figura 2.11. Acople de cámaras/separador.

(Fuente propia)

Pasos por seguir en la instalación del acople y proceso de mecanizado en el separador.

- Eliminar aristas vivas de perforaciones de cámaras.
- Verificación de ajuste entre acople y perforaciones (ajuste en apriete).
- Colocar acople en perforación de la cámara 1.
- Ingresar y direccionar acople a presión.

- Señalar las 6 perforaciones con broca 10.
- Nota: Colocar en la posición deseada, señalar con regleta y rayador para guiarse.
- Retirar acople de separador.
- Perforar con broca de centros.
- Perforar con broca 6 mm (seis perforaciones).
- Perforar con broca 10 mm (seis perforaciones).
- Avellanar perforaciones.
- Repetir pasos para cámara las cámaras 2 y 3.

En la figura 2.12 se muestran el proceso de mecanizado del separador con ayuda del acople.



Figura 2.12. Mecanizado con ayuda de acople de cámaras/separador.
(Fuente propia)

1) Área de mecanizado

Tabla 2.11. Mecanizado con ayuda de acople de cámaras/separador.

#	Máquinas	Acoples	Herramientas	Proceso realizado	Acabado superficial
1	Fresadora	Bailarina		Planeado de superficies	N7
		Porta brocas	Fresa de vástago	Fresado plano	N8
		Bailarina interior	Cuchilla de 3/8" HSS	Fresado interior	N8
2	Taladro	Porta brocas	Broca 1/4"	Perforado	N10
		Porta brocas	Broca 3/8"	Perforado	N10
3	N/A	Gira machos	Machuelo M8x1,5	Roscado	

(Fuente: Propia)

2) Área de ajuste

Tabla 2.12. Instrumentos de control del separador.

#	Instrumento de medición
1	Calibrador pie de rey
2	Calibrador pie de rey digital
3	Nivel
4	Compas de interiores y exteriores
5	Flexómetro

(Fuente: Propia)

3) Descripción del proceso de mecanizado

- Eliminación de aristas vivas en toda la superficie del separador (Previstas en la fundición).
- Verificar las dimensiones en bruto en los planos de taller.
- Planear la superficie cara A, sección carcasa.
- Planear la superficie cara B, sección cámara.
- Planear la superficie cara C, sección mainford 1.
- Planear la superficie cara D, sección mainford 2.
- Planear la superficie de tapa de suministro.
- Planear la superficie de sistema de aceite.
- Fresado longitudinal, perforación cilindro 1, tolerancia de ajuste 1 mm.
- Fresado longitudinal, perforación cilindro 2, tolerancia de ajuste 1 mm.
- Fresado longitudinal, perforación cilindro 3, tolerancia de ajuste 1 mm.
- Control de dimensiones, calibrador digital.
- Fresado longitudinal prensa estopa cilindro 1, tolerancia de ajuste 0.2mm.
- Fresado longitudinal prensa estopa cilindro 2, tolerancia de ajuste 0.2mm.
- Fresado longitudinal prensa estopa cilindro 3, tolerancia de ajuste 0.2mm.
- Control de dimensiones, calibrador digital y compas de interiores.
- Fresado de asiento de prensa estopa 1.
- Fresado de asiento de prensa estopa 2.
- Fresado de asiento de prensa estopa 3.
- Control de dimensiones, calibrador digital y compas de interiores.
- Fresado longitudinal, perforación cámara 1, tolerancia de ajuste 0.2 mm.
- Fresado longitudinal, perforación cámara 1, tolerancia de ajuste 0.2 mm.
- Fresado longitudinal, perforación cámara 1, tolerancia de ajuste 0.2 mm.

- Control de dimensiones, calibrador digital.
- Usar útil de mecanizado, acople de cámaras/separador.
- Señalar perforaciones.
- Perforar en cámara 1, a dimensión 13 mm.
- Perforar en cámara 2, a dimensión 13 mm.
- Perforar en cámara 3, a dimensión 13 mm.
- Señalar perforaciones de tapa de suministro.
- Perforar M5 (6 perforaciones).
- Roscar $\frac{1}{4}$ G (las 6 perforaciones de tapa).
- Señalar perforaciones de las orejas del soporte.
- Perforar orejas de soporte, a dimensión $\frac{1}{2}$ ".
- Avellanar perforaciones.

Nota: Realizar este proceso en todas las perforaciones del elemento mecánico.

- Eliminación de aristas vivas.
- Verificación y control de dimensiones.

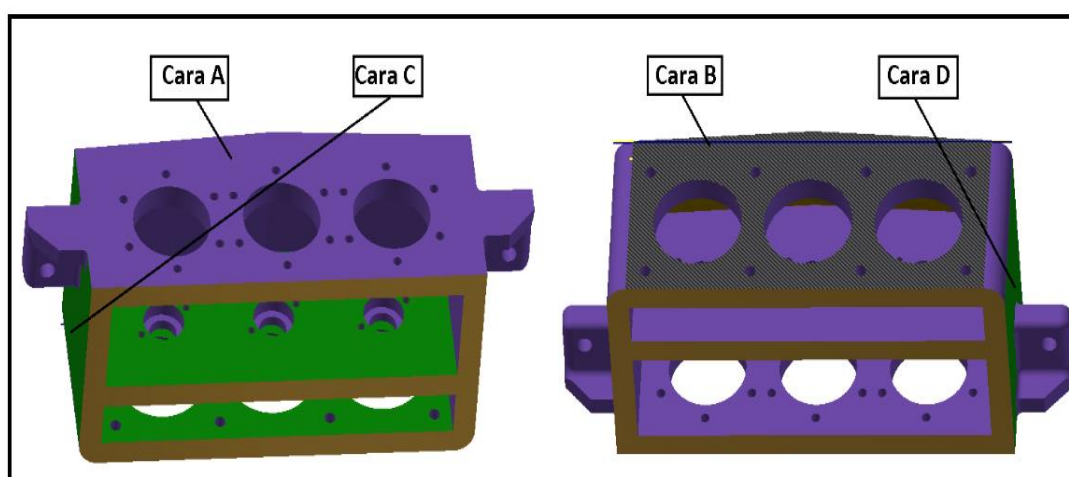


Figura 2.13. Denominación de mecanizado del separador.

(Fuente propia)

4) Hoja de procesos

La hoja de procesos del mecanizado del separador se encuentra descrita en el anexo 5.

5) Fotografías del mecanizado del separador

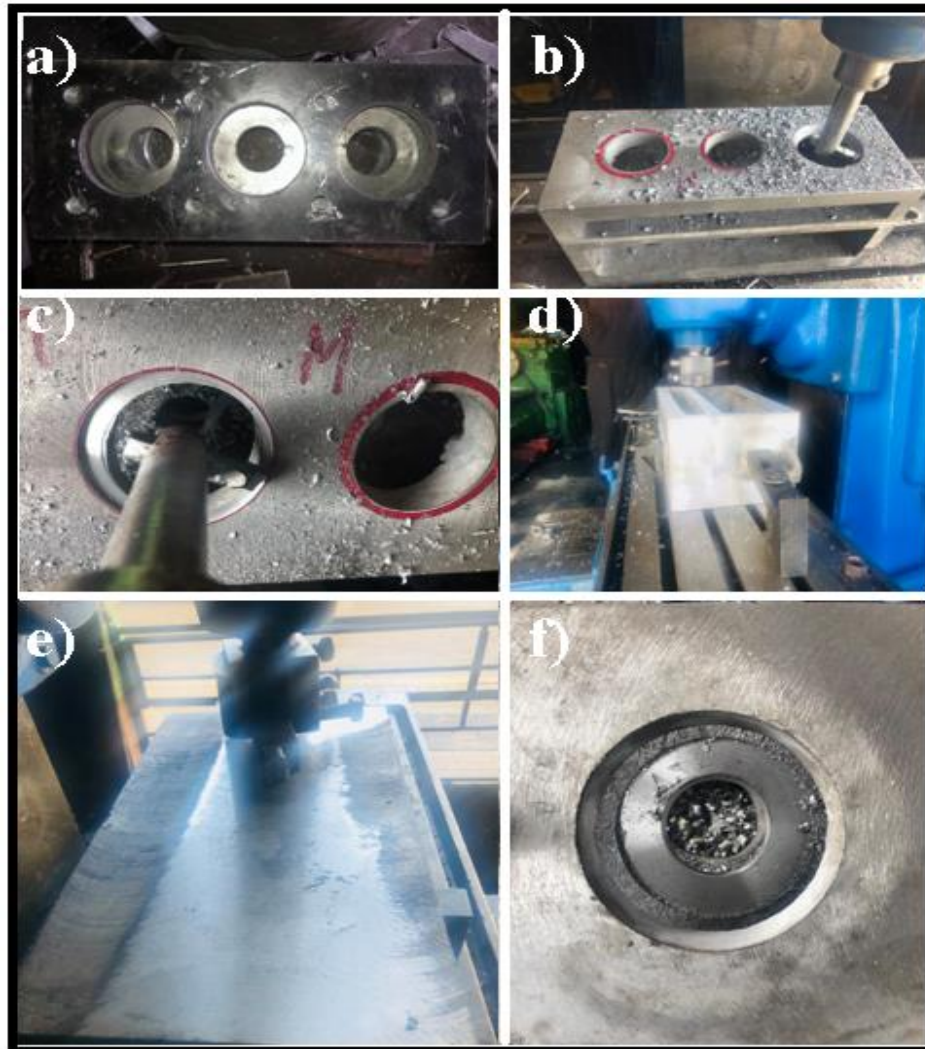


Figura 2.14. Mecanizado de Separador: a) Perforado, b) y c) Fresado Longitudinal interior, d) y e) Planeado lateral, f) fresado longitudinal (soporte).
(Fuente: Propia)

2.7.3. Cigüeñal

El cigüeñal es de hierro fundido (fundición nodular), la cual se obtuvo por medio del proceso de fundición. La herramienta de corte indicada para el mecanizado por desprendimiento de viruta es una cuchilla de acero rápido HSS a medias revoluciones o se puede utilizar una plaquita de widia a altas revoluciones para el mecanizado. El elemento se mecanizó con la ayuda de un útil de mecanizado para su obtención y adaptación de varias herramientas. El mecanizado se lo realizó en su totalidad en un torno paralelo convencional y no requirió de una rectificadora para su obtención. Garantizando sus ajustes y acabados superficiales previstos en los planos de taller.

2.7.3.1. Herramientas y útiles del mecanizado.

Para la realización del mecanizado del cigüeñal se fabricó dos acoples que facilitan el mecanizado de los muñones del cigüeñal, el mismo que se muestra detallado en el anexo 6, de tal manera que a continuación se describe su instalación y proceso de mecanizado.

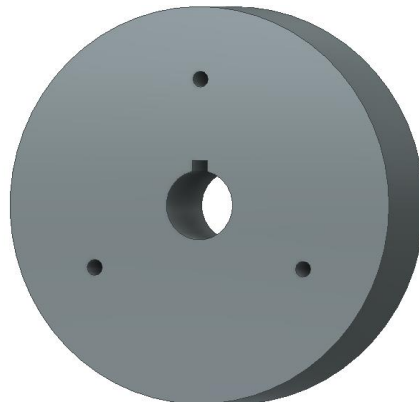


Figura 2.15. Útil de mecanizado de muñones de cigüeñal.
(Fuente propia)

Pasos a seguir en la instalación de acople de mecanizado de muñones.

- Verificar dimensiones de cigüeñal.
- Controlar ajuste de hembra y macho.
- Colocar en secciones mecanizadas acoples de cigüeñal sección A y sección B.
- Colocar chaveta en las dos secciones del cigüeñal.
- Colocar perro de arrastre en sección A del cigüeñal.
- Colocar acoples en las dos secciones guiadas.
- Guiarlas con unos golpes leves.
- Prensar acople A hasta tope de guía.
- Prensar acople B hasta tope de guía.
- Colocar arandela y perno de sujeción de acople.
- Numerar perforaciones guía de mecanizado de muñones.
- Colocar en perforación 1, para el mecanizado de muñón.
- Colocar punto fijo y punto móvil en perforación 1 de acople.

Nota: Colocar perro de arrastre lo más cercano a mandril y verificar sujeción.

- Mecanizar a diámetro $40 + 0.5$ mm.
- Rectificar a diámetro $40 \pm 0,005$.

Nota: Realizar los mismos procedimientos para el muñón 2 y 3.

- Desmontar acoples y perro de arrastre.
- Verificar dimensiones.

En la figura 2.16 se muestra las fotografías de la instalación de los acoples de mecanizado de los muñones del cigüeñal.



Figura 2.16. Útiles de mecanizado del cigüeñal.

(Fuente propia)

En la figura 2,17 se muestran los elementos de instalación del cigüeñal.

- 1) Muñón de cigüeñal (sin mecanizar).
- 2) Perro de arrastre (sección A, sección más corta).
- 3) Acople de mecanizado (sección A).

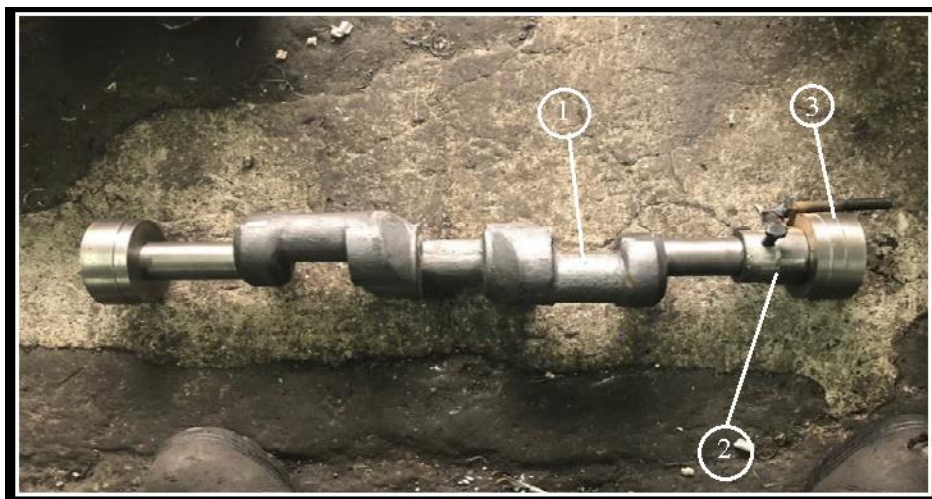


Figura 2.17. Sistema de mecanizado cigüeñal.

(Fuente propia)

1) Área de mecanizado

Tabla 2.13. Descripción del proceso de mecanizado del cigüeñal.

#	Máquinas	Acoples	Herramientas	Proceso realizado	A. superficial
1	Torno	Porta cuchillas exteriores	Cuchilla de acero rápido (Punta trapezoidal)	Torneado de soportes	N7
		-	Cuchilla para interiores de acero rápido	Torneado de Gorriones de apoyo o bancada	N7
2	Fresadora	Porta brocas	Fresa de vástago	Chavetero 10mm	N8
3	Taladro	Porta brocas	Juego de Brocas	Perforado	N10
4	N/A	Gira machos	Machuelo M12x1,75	Roscado	-

Fuente: Propia)

2) Área de ajuste

Tabla 2.14. instrumentos de control.

#	Instrumento de medición
1	Calibrador pie de rey
2	Calibrador pie de rey digital
3	Micrómetro de exteriores
4	Calibrador de reloj
5	Reloj Palpador

(Fuente: Propia)

3) Descripción del proceso de mecanizado

- Eliminación de aristas vivas en toda la superficie de la carcasa (Previstas en la fundición).
- Verificación de dimensiones en planos de taller.
- Refrentado de sección principal A.
- Perforación punto de apoyo sección principal A.
- Pre cilindrado de punto de apoyo A (Sobredimensionado 2 mm).
- Refrentar la sección secundaria B.
- Perforar punto de apoyo sección secundaria B.
- Pre cilindrado de punto de apoyo A (Sobredimensionado 2 mm).
- Fresado de chaveteros sección A y sección B.

- Fabricación de acople de secciones A y sección B.
Nota: fabricación de 3 división de 120°, en la fresadora con broca de centros, con un radio de acuerdo de 40mm.
- Fabricación de chavetas para sección A, sección B.
- Colocación de acoples.
- Colocación de perro de arrastre sección A.
- Cilindrado de gorrón de apoyo o bancada 1, sobredimensionado 0.5 mm.
- Cilindrado de gorrón de apoyo o bancada 2, sobredimensionado 0.5 mm.
- Cilindrado de gorrón de apoyo o bancada 3, sobredimensionado 0.5 mm.
- Rectificado de apoyo 1, tolerancia de ajuste de 0.02.
- Rectificado de apoyo o 2, tolerancia de ajuste de 0.02.
- Rectificado de apoyo 3, tolerancia de ajuste de 0.02.
- Desmontaje de acoples sección A y sección B.
- Cilindrado de soporte de rodamiento y retenedora sección A, tolerancia de ajuste de 0.05.
- Cilindrado de soporte de rodamiento y retenedor sección B, tolerancia de ajuste de 0.05.
- Control y verificación de dimensiones.

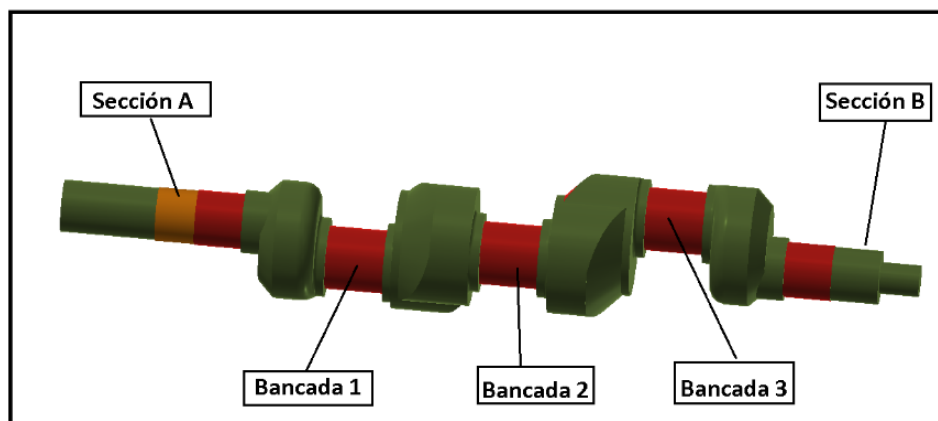


Figura 2.18. Denominación de mecanizado de cigüeñal.

(Fuente propia)

4) Hoja de procesos

La hoja de procesos del mecanizado del cigüeñal se encuentra descrita en el anexo 5.

5) Fotografías del mecanizado del cigüeñal

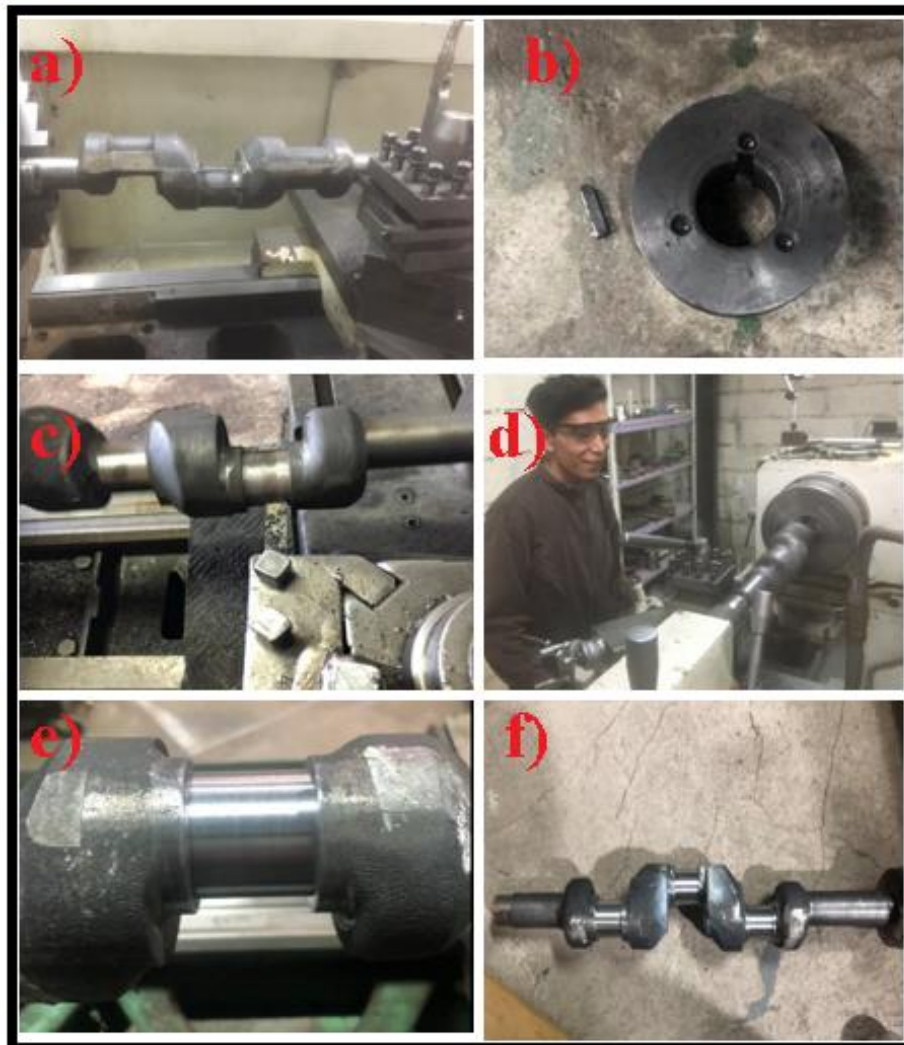


Figura 2.19. Mecanizado de cigüeñal a) cilindrado de base de rodamiento, b) útil de mecanizado de muñones, c) Cilindrado de muñones, Refrentado de muñones, e) Superficie rectificada de muñones, f) cigüeñal mecanizado.

(Fuente: Propia)

2.7.4. Biela

La biela es de fundición gris (fundición nodular), la cual se obtuvo por el proceso de fundición. La herramienta de corte recomendada para el mecanizado de este elemento es una cuchilla de acero rápido HSS, a medianas revoluciones. Pero se optó por el uso de una cuchilla de widia a altas revoluciones para la obtención de un mejor acabado superficial del elemento. El mecanizado se lo realiza con: la fresadora, torno, sierra de cinta y taladro.

1) Área de mecanizado

Tabla 2.15. Descripción del proceso de mecanizado de la biela.

#	Máquinas	Acoples	Herramientas	Proceso realizado	A. superficial
1	Fresadora	Bailarina	Cuchilla con incrustación de widia	Planeado de caras	N7
		Porta brocas	Fresa de vástago	Fresado de forma	N8
2	Torno	Bailarina interior	Cuchilla de 3/8" HSS	Fresado interior de cabeza de biela	N8
		Porta brocas	Juego de brocas	Perforado 16 mm	N10
		Porta cuchillas exteriores	Cuchilla con incrustación de widia (Punta trapezoidal)	Torneado de cara y perfil de cabeza de biela	N7
		-	Cuchilla para interiores con incrustación de widia	Torneado interior de cabeza de biela	N7
		Porta brocas	Broca 8 mm	Perforado	N10
3	Taladro	Porta brocas	Broca 8 mm	Perforado	N10
4	N/A	Gira machos	Machuelo M8x1,5	Roscado	-
5	Cortadora de cinta	-	Sierra tipo cinta	Cortado de cabeza de biela	N11

(Fuente: Propia)

2) Área de ajuste

Tabla 2.16. Instrumento de control de la biela.

#	Instrumento de medición
1	Reloj palpador
2	Calibrador pie de rey digital
3	Nivel
4	Compas de interiores y exteriores
5	Micrómetro de interiores

(Fuente: Propia)

3) Descripción del proceso de mecanizado

- Eliminación de aristas vivas en toda la superficie de la carcasa (Previstas en la fundición).
- Verificación de dimensiones en planos de taller.
- Planear cara A (fresadora con bailarina transversal).
- Planear cara B (fresadora con bailarina transversal).
- Fresar forma de perfil de biela (fresa de vástago).
- Fresar de base de pernos de cabeza de biela.

- Perforar el lateral izquierdo y derecho de cabeza de biela (Cabeza de vástago superior).
- Rosca 3/8G para pernos de unión de cabeza de biela.
- Corte longitudinal de cabeza de biela (sierra de cinta).
- Planear cara superior de cabeza de vástago.
- Planear cara inferior de cabeza de vástago.
- Nota las caras deben ser paralelas y perpendicular a la cara inferior de biela.
- Centrar perforación y controlar con reloj palpador.
- Torneear perfil de cara A cabeza de vástago (mandril de cuatro).
- Centrar perforación y controlar con reloj palpador.
- Torneear perfil cara B cabeza de vástago (mandril de cuatro).
- Torneado interior, para chaquetas de bronce con tolerancia ajuste de 0.05 mm.
- Control de dimensión de chaqueta (micrómetro de interiores).
- Perforado de pie de biela para pasador, tolerancia de ajuste 0.5 mm.
- Perforación de canales de lubricación de 6 mm.
- Control y verificación de dimensiones.

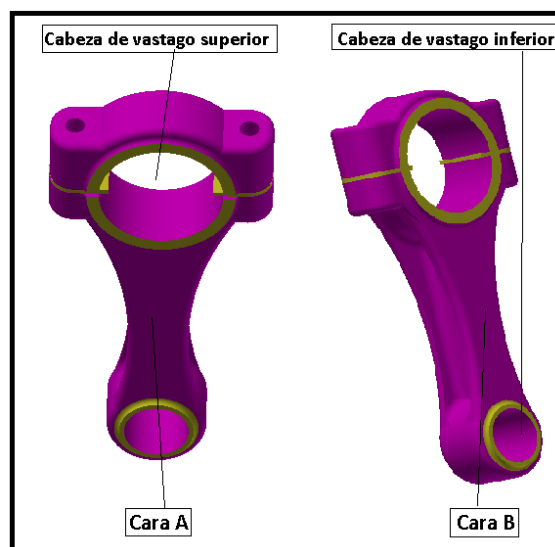


Figura 2.20. Denominación de mecanizado de biela.

(Fuente propia)

4) Hoja de procesos

La hoja de procesos del mecanizado de la biela se encuentra descrita en el anexo 5.

5) Fotografías del mecanizado de la biela



Figura 2.21. Mecanizado de biela: a) bielas fundidas b) Planeado de caras, c) Corte de cabeza de biela con sierra de cinta, d) Roscado, e) Perforado, f) Biela termina.
(Fuente propia)

2.7.5. Pistón

El pistón es de bronce al aluminio, el cual se obtuvo por medio del proceso de fundición. La herramienta de corte recomendada para el mecanizado por arranque de viruta de este elemento es una cuchilla de acero rápido HSS, pero la fundición presenta mayor dureza de la esperada y varios defectos de fundición visibles e incrustaciones de elementos extraños previsto de la fundición de tal manera que se optó por utilizar una cuchilla de widia a medianas revoluciones. De tal manera que se permita garantizar las dimensiones, ajustes y acabados superficiales del pistón.

1) Área de mecanizado

Tabla 2.17. Descripción del proceso de mecanizado del pistón.

#	Máquinas	Acoples	Herramientas	Proceso realizado	A. superficial
1	Torno	Porta cuchillas exteriores	Cuchilla de widia	Torneado lateral de bases	N7
		-	Cuchilla para interiores de widia	Torneado interior de tapas	N7
			Cuchilla de interiores HSS para roscado	Roscado interior	-
			Cuchilla de widia	Canales de lubricación	N7
2	Fresadora	Porta brocas	Broca de centros	Señalar puntos guías de pasador	N7
		Porta brocas	Juego de brocas	Perforación para pasador de biela/pistón	N8
3	Rectificadora	Rectificadora de piedra fina	Piedra de afinar	Pulido	N5

(Fuente: Propia)

2) Área de ajuste

Tabla 2.18. Instrumentos de control del pistón

#	Instrumento de medición
1	Calibrador pie de rey
2	Calibrador pie de rey digital
3	Nivel
4	Compas de interiores y exteriores
5	Micrómetro de exteriores

(Fuente: Propia)

3) Descripción del proceso de mecanizado

- Eliminación de aristas vivas en toda la superficie de la carcasa (Previstas en la fundición).
- Verificación de dimensiones en planos de taller.
- Refrentar cara de entrada inyector.
- Cilindrar la falda de pistón sección exterior 80 + 1 mm (desbastado basto).
- Cilindrar la falda de pistón sección interior.
- Cilindrar cónico interior.

- Refrentar cara de salida de pistón.
- Cilindrar interior a 22mm (sección inyector).
- Roscar M24 x 2.0 (sección inyector).
- Avellanar perforación.
- Cilindrado de cuerpo de pistón con HSS (Tolerancia de ajuste 0.5mm).
- Rectificado de cuerpo de pistón, tolerancia de ajuste 0.02 mm.
- Control de dimensiones (micrómetro).
- Tronzar canales de lubricación.
- Pulir (Lijar)
- Señalar con broca de centros área de pasador.
- Perforar a diámetro 16mm para pasador biela/pistón.
- Avellanado de perforación de pasador.
- Eliminación de aristas vivas.
- Chafan en sección de ingreso.
- Control y verificación de dimensiones.

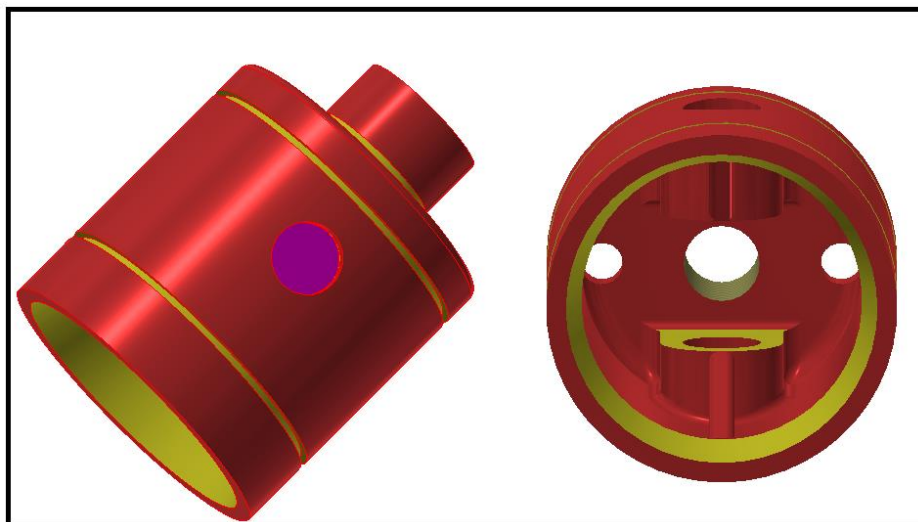


Figura 2.22. Denominación de mecanizado del pistón.

(Fuente propia)

4) Hoja de procesos

La hoja de procesos del mecanizado del pistón se encuentra descrita en el anexo 6.

5) Fotografías de construcción del pistón

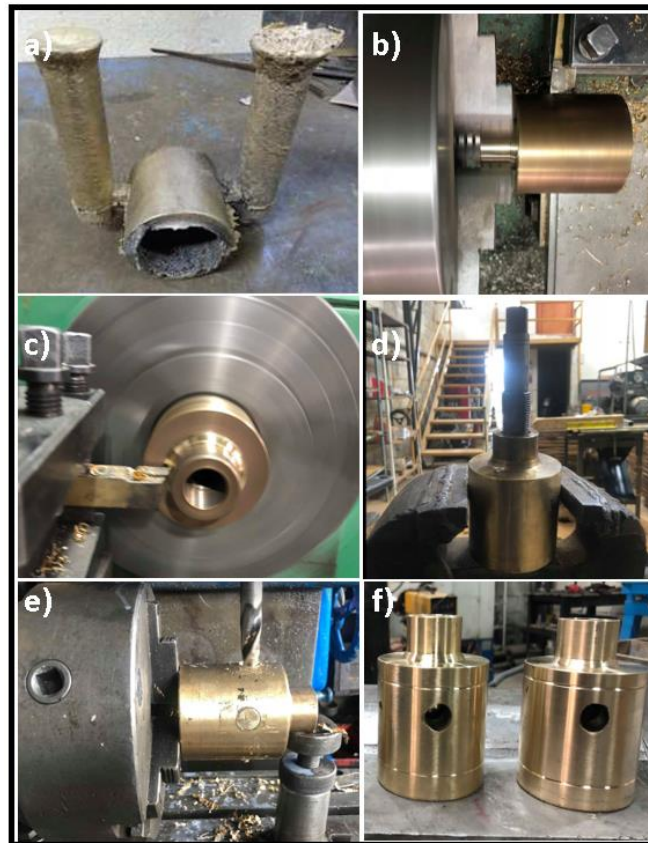


Figura 2.23. Mecanizado de biela: a) bielas fundidas b) Planeado de caras, c) Corte de cabeza de biela con sierra de cinta, d) Roscado, e) Perforado, f) Biela termina.
(Fuente propia)

2.7.6. Cámara

La cámara es de bronce al aluminio, la cual se obtuvo por medio de un proceso de fundición. La misma presenta varios defectos de fundición visibles y de gran proporción, en su procesamiento se tuvo que utilizar herramientas de corte para materiales duros, a pesar de que se trate de un bronce, de tal manera que para el proceso de mecanizado en la cámara de la bomba triplex, se utilizó una herramienta de corte de gran dureza tal como plaquetas de widia y de diamante. Esta pieza a ser mecanizada se la realizó a través de varios procesos de mecanizado, tales como fresado, torneado, taladrado. Además, se contó con la ayuda de varios útiles de mecanizado para la obtención del elemento.

2.7.6.1. Herramientas y útiles del mecanizado.

Para la fabricación de la cámara, se contó con la ayuda de varios herramientas y útiles de mecanizado. De tal forma que se realizó cuatro útiles de mecanizado para la realización de las guías y perforaciones de sujeción de la cámara. Los acoples cuentan

con las siguientes descripciones como se muestran en el anexo 6, las mismas que se detallan a continuación como su proceso de instalación y procesamiento.

2.7.6.1.1. Acople válvula de succión

Método de instalación y pasos de mecanizado.

- Eliminar aristas vivas en la superficie.
- Colocar sobre la pared de la válvula de succión.
- Prensar hasta tope primario del acople de la válvula de succión.
- Comprobar que el acople este besado entre la pared del acople y la cara de la cámara.
- Señalar perforación con broca de 13 mm.
Nota: Realizar este procedimiento para los 6 agujeros del acople.
- Retirar acople.
- Control de las dimensiones de las guías.
- Perforar con broca de ¼ "en la guía.
- Perforar con broca de 10mm.
- Perforar con broca 11 mm.
- Avellanar perforación.
- Roscar ½ F.
- Realizar los pasos 5) hasta el 11) para las cámaras restantes.
- Eliminar aristas vivas.
- Verificar y controlar dimensiones.

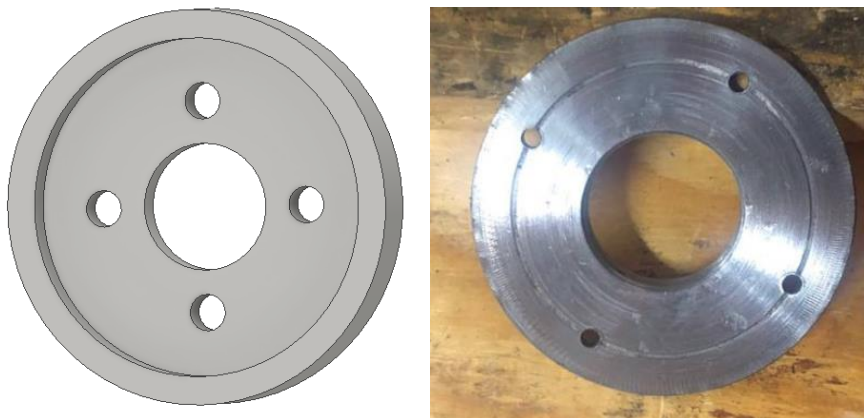


Figura 2.24. Acople de válvula de succión.
(Fuente propia)

2.7.6.1.2. Acople válvula de descarga

Método de instalación y pasos de mecanizado.

- Eliminar aristas vivas en la superficie.
- Colocar sobre la pared de la válvula de succión.
- Prensar hasta tope primario del acople de la válvula de succión.
- Comprobar que el acople este besado entre la pared del acople y la cara de la cámara.
- Señalar perforación con broca de 13 mm.
Nota: Realizar este procedimiento para los 4 agujeros del acople.
- Retirar acople.
Nota: Se recomienda retirar el acople con pequeños golpes con Grilon o aluminio, para evitar abollar el acople.
- Control de las dimensiones de las guías.
- Perforar con broca de ¼ "en la guía.
- Perforar con broca de 10mm.
- Perforar con broca 11 mm.
- Avellanar perforación.
- Roscar ½ F.
- Realizar los pasos 5) hasta el 11) para las cámaras 2 y 3 respectivamente.
- Eliminar aristas vivas.
- Verificar y controlar dimensiones.



Figura 2.25. Acople de válvula de descarga.

(Fuente propia)

2.7.6.1.3. Acople prensa estopa de agua

Método de instalación y pasos de mecanizado.

- Eliminar aristas vivas en la superficie.
- Colocar sobre la pared de la válvula de succión.
- Prensar hasta tope primario del acople de la válvula de succión.
- Comprobar que el acople este besado entre la pared del acople y la cara de la cámara.
- Señalar perforación con broca de 10 mm.
- Realizar el mismo procedimiento para las 4 perforaciones del acople.
- Retirar acople.

Nota: Se recomienda retirar el acople con pequeños golpes con Grilon o aluminio, para evitar abollar el acople.

- Perforar con broca de ¼ “.
- Perforar con broca de 8mm.
- Avellanar perforación.
- Roscar 3/8 G.

Nota: Realizar el mismo procedimiento para todas las perforaciones.

- Repetir el paso 5) al 11) para las cámaras 2 y 3.
- Verificar posiciones y dimensiones de perforaciones.



Figura 2.26. Acople prensa estopa de agua.

(Fuente propia)

2.7.6.1.4. Acople de sujeción separador

Método de instalación y pasos de mecanizado.

- Eliminar aristas vivas en la superficie.
- Colocar sobre la cara de sujeción de las cámaras/separador.
- Prensar hasta tope primario del acople de la válvula de succión.
- Comprobar que el acople este besado entre la pared del acople y la cara de la cámara.
- Señalar perforación con broca de 11 mm.
- Realizar el mismo procedimiento para las 5 perforaciones restantes.
- Retirar acople.
- Perforar con broca de ¼ “.
- Perforar con broca de 8mm.
- Perforar con broca de 12 mm.
- Avellanar perforación de ambos lados.
- Verificar dimensiones.

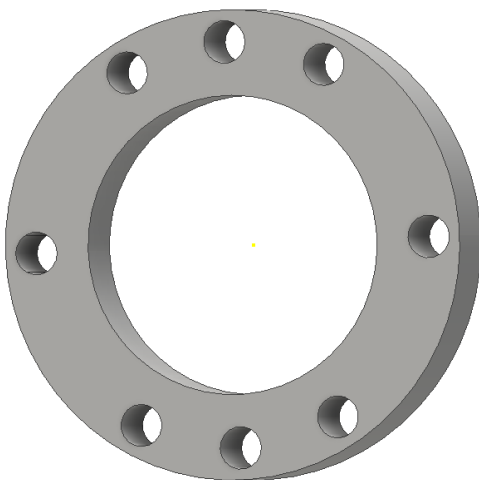


Figura 2.27. Acople sujeción separador.

(Fuente propia)

1) Área de mecanizado

Tabla 2.19. Descripción del proceso de mecanizado de la cámara.

#	Máquina	Acoples	Herramientas	Proceso realizado	A. superficial
1	Torno	Porta cuchillas exteriores	Cuchilla incrustación de widia (Punta trapezoidal)	Cilindrado y Refrentado exterior de sección salida	N7
			Cuchilla para interiores de widia	Cilindrado interior de sección salida	N7
		Porta cuchillas exteriores	Cuchilla incrustación de widia (Punta trapezoidal)	Cilindrado y Refrentado exterior de sección entrada	N7
		-	Cuchilla para interiores de widia	Cilindrado interior de sección entrada	N7
		Porta cuchillas exteriores	Cuchilla incrustación de widia (Punta trapezoidal)	Cilindrado y Refrentado exterior de sección de potencia	N7
		-	Cuchilla para interiores de widia	Cilindrado interior de sección de potencia	N7
2	Fresadora	Porta brocas	Broca de centros	Señalar puntos guías de sección entrada	N7
		Porta brocas	Juego de brocas	Perforación 4 elementos simétricos de 1/4"	N8
		Porta brocas	Broca de centros	Señalar puntos guías de sección salida	N10
		Porta brocas	Juego de brocas	Perforación 4 elementos simétricos de 1/4"	N10
		Porta brocas	Broca de centros	Señalar puntos guías de sección Potencia entrada de base y entrada de Plunger	N10
		Porta brocas	Juego de brocas	Perforación 4 elementos simétricos de 1/4" y 6 elementos simétricos de Plunger	N10
		Planeado	Bailarina de exteriores	Caras de entrada y salida de las tres cámaras	N6
N/A	Gira machos	Machuelo M8x1,25	Roscado	Roscado sección entrada	-
		Machuelo M8x1,25	Roscado	Roscado sección salida	-
		Machuelo M8x1,25	Roscado	Roscado parte primaria sección potencia	-

(Fuente: Propia)

2) Área de ajuste

Tabla 2.20. Instrumentos de control de cámara.

#	Instrumento de medición
1	Calibrador pie de rey
2	Calibrador pie de rey digital
3	Nivel
4	Compas de interiores y exteriores
5	Flexómetro

(Fuente: Propia)

3) Descripción del proceso de mecanizado

- Eliminación de aristas vivas en toda la superficie de la carcasa (Previstas en la fundición).
- Verificación de dimensiones en planos de taller.
- Centrar sección de entrada con reloj palpador (sección de inyector).
Nota: centrado de cuatro puntos, en sección ovalas encontradas en la fundición para encontrar punto óptimo.
- Refrentado de la cara de succión (Sección A).
- Cilindrado exterior sección A, tolerancia de ajuste 1 mm.
- Cilindrado interior sección A, tolerancia de ajuste 0.5mm.
- Control de dimensiones con calibrador pie de rey.
- Centrar sección de salida con reloj palpador.
- Refrentado de la cara de descarga (Sección B).
- Cilindrado exterior sección B, tolerancia de ajuste 1 mm.
- Cilindrado interior sección B, tolerancia de ajuste 0.5mm.
- Cilindrado cónico sección B, a 45 °.
- Control de dimensiones con calibrador pie de rey.
- Centrar sección de potencia con reloj palpador (mandril de cuatro).
- Refrentar sección de potencia (Sección C).
- Cilindrado exterior sección C, tolerancia de ajuste 1 mm.
- Tronzado de cara latera sección C.
- Cilindrado interior sección C en dos dimensiones, tolerancia de ajuste 0.5mm.
Nota: Cilindrar entrada tolerancia de ajuste de 0.02mm y entrada secundaria tolerancia de ajuste 1 mm.

- Controlar dimensiones con calibrador y compas de interiores.
- Montar rodela de acople, perforaciones sección A.
- Perforar con acople sección A.
- Roscar 5/16 G, Cuatro perforaciones.
- Montar rodela de acople, perforaciones sección B.
- Perforar con acople sección B.
- Roscar 5/16 G, todas las perforaciones.
- Montar rodela de acople, perforaciones sección C (cara principal).
- Perforar con acople sección C.
- Roscar 5/16 G, todas las perforaciones.
- Montar rodela de acople, perforaciones sección C (cara principal).
- Perforar con acople sección C, pasante de 10mm.
- Avellanar perforaciones.
- Eliminar aristas vivas de todo el elemento.
- Planear caras de sección A y B (para montaje de cámaras en separador).
- Control y verificación de dimensiones.

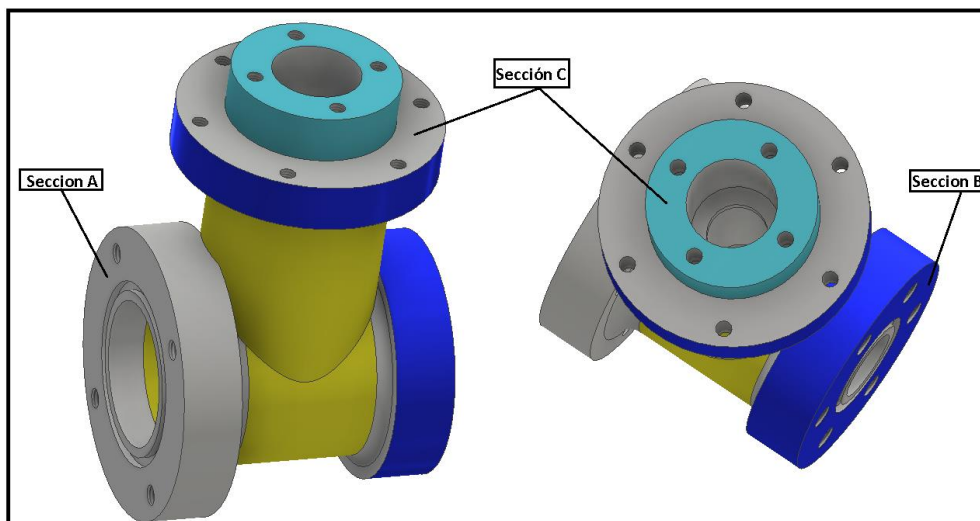


Figura 2.28. Denominación de mecanizado cámara
(Fuente propia)

4) Hoja de procesos

La hoja de procesos del mecanizado de la cámara se encuentra descrita en el anexo 5.

5) Fotografías del mecanizado de la cámara



Figura 2.29. Mecanizado de cámara: a) Refrentado cara de succión b) Refrentado prensa estopa, c) Cilindrado interior, d) Cilindrado exterior, e) Torneado exterior, f) Biela termina.
(Fuente propia)

2.7.7. Tapas laterales

Las tapas laterales son de fundición gris (fundición nodular), las misma que se obtuvieron por el proceso de fundición. El mecanizado de las tapas lateral se lo realizo con el torno y la fresadora. La herramienta de corte utilizada para el mecanizado del elemento es una cuchilla de acero rápido HSS.

1) Área de mecanizado

Tabla 2.21. Descripción del proceso de mecanizado de tapas laterales.

#	Máquinas	Acoples	Herramientas	Proceso realizado	A. superficial
1	Torno	Porta cuchillas exteriores	Cuchilla de acero rápido (Punta trapezoidal)	Torneado exterior de tapas	N7
		-	Cuchilla para interiores de acero rápido	Torneado interior de tapas (Cavidad de rodamiento y retenedor)	N7
2	Fresadora	Porta brocas	Cabezal divisor	Calculo de síes lados	N7
			Broca de Centros	Señalar 6 perforaciones simétricas	N10
3	Taladro	Porta brocas	Broca 3/8"	Perforado	N10

(Fuente: Propia)

2) Área de ajuste

Tabla 2.22. Instrumentos de control de las tapas laterales.

#	Instrumento de medición
1	Calibrador pie de rey
2	Calibrador pie de rey digital
3	Nivel
4	Compas de interiores y exteriores
5	Flexómetro

(Fuente: Propia)

3) Descripción del proceso de mecanizado

- Eliminación de aristas vivas en toda la superficie de la carcasa (Previstas en la fundición).
- Verificación de dimensiones en planos de taller.
- Refrentado de Cara A.
- Cilindrado de base carcasa, tolerancia de ajuste de 0,5 [mm].
- Cilindrado interior superficie de rodamiento.

- Refrentado de pared de rodamiento interior.
- Refrentado de Cara B.
- Cilindrado de saliente de carcasa.
- Perforado de centros en cara B.
- Perforado con juego de brocas hasta la medida de 1".
- Cilindrado interior para retenedor.
- Perforado con broca de centros de seis cavidades simétricas con una distancia de 150 mm.
- Perforar con broca de centros.
- Perforar con broca 6 mm.
- Perforar con broca 10 mm.
- Perforar con broca 14 mm por 8 mm de profundidad.
- Avellanar de perforaciones.
- Eliminación de aristas vivas (achaflanar).
- Control de dimensiones.

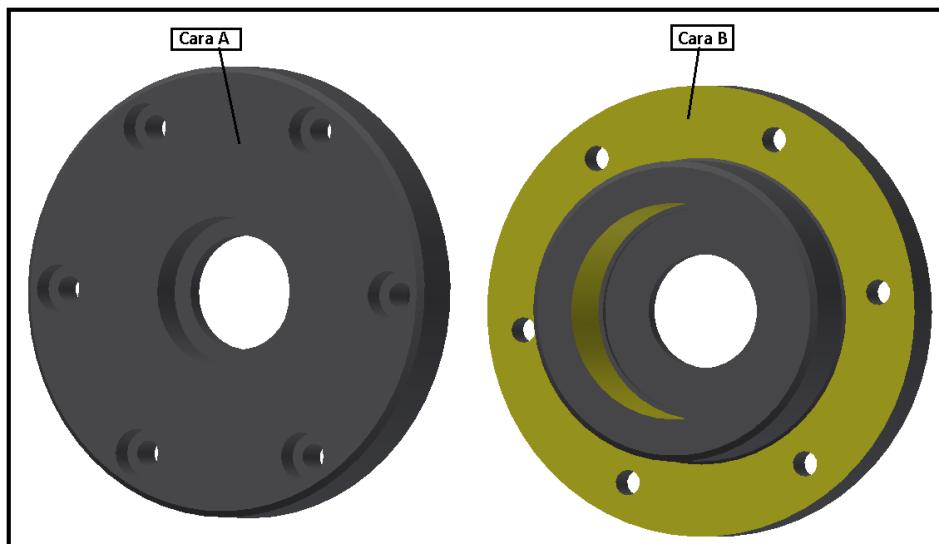


Figura 2.30. Denominación de mecanizado tapas laterales.

(Fuente propia)

4) Hoja de procesos

La hoja de procesos del mecanizado de las tapas laterales se encuentra descrita en el anexo 5.

5) Fotografías del mecanizado de las tapas laterales

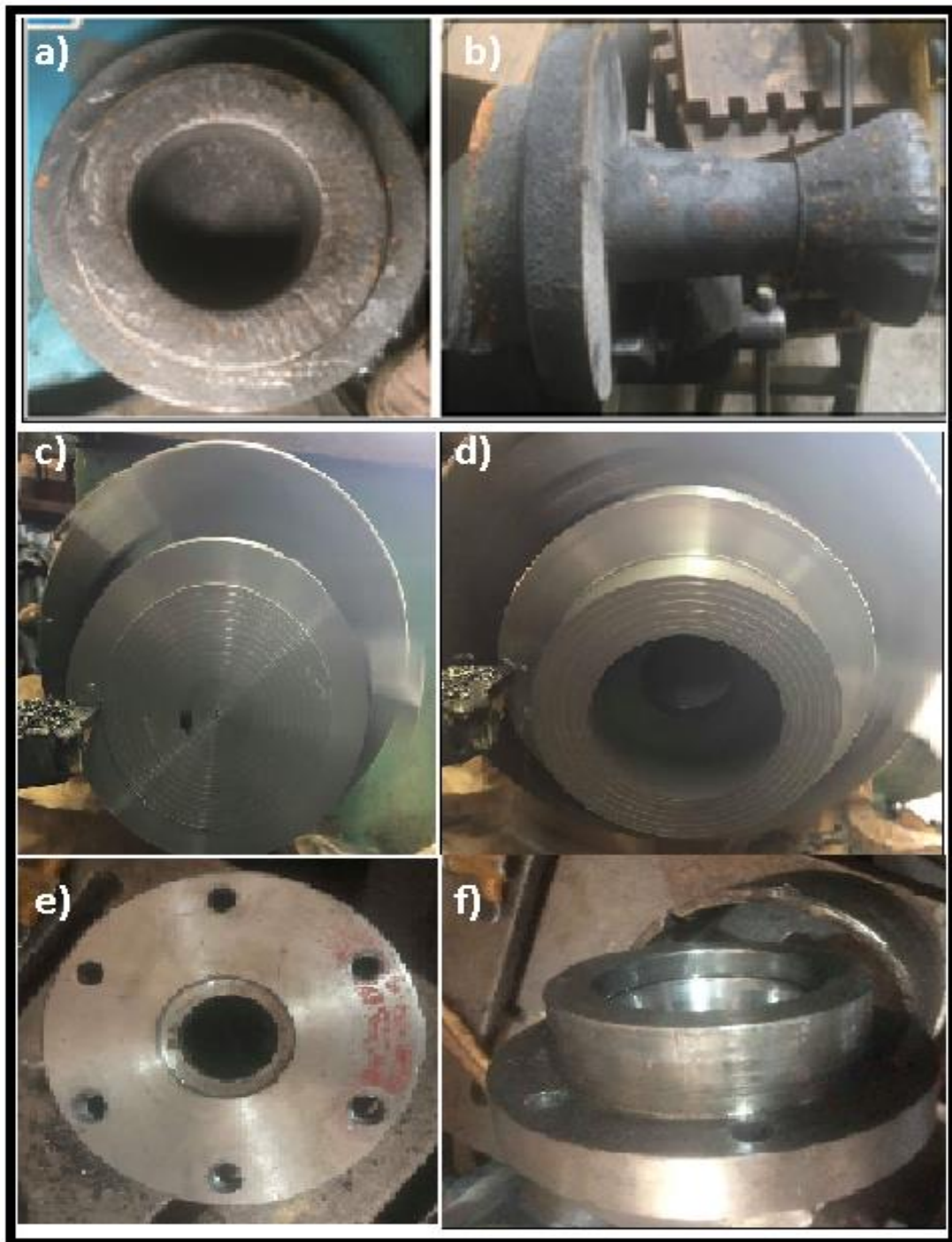


Figura 2.31. Mecanizado de tapas laterales: a) y b) Tapas fundidas c) Refrentado de tapa, d) Cilindrado exterior, e) y f) tapa lateral terminada.
(Fuente propia)

2.8. Ensamble

El ensamble de la bomba consiste en una serie de pasos consecutivos y necesarios para el montaje de los elementos, de tal manera que se garantice el correcto ajuste y acoplamiento entre los elementos, para obtener la funcionalidad de la máquina requerida.

El montaje de los elementos se lo realiza por medio de sistemas bases o primarios, los mismos que son necesarios para tener un orden lógico y necesario en la composición de la bomba. Esto permite verificar la funcionalidad de la máquina por secciones. Permitiendo verificar el funcionamiento de los sistemas y subsistemas que conforman la bomba, hasta obtener la bomba triplex, a continuación, se indican los sistemas necesarios para ensamble:

- Sistema 1: Elemento Pistón/Biela.
- Sistema 2: Elemento Pistón/Cigüeñal.
- Sistema 3: Elemento Tapas/Cigüeñal/Carcasa.
- Sistema 4: Elemento Separador/Carcasa.
- Sistema 5: Carcasa/Separador/Cámaras.
- Sistema 6: Cámaras.
- Ensamble final.

El montaje de cada uno de los sistemas propuestos se lo realizara con las siguientes actividades detalladas a continuación, las cuales deben tener las siguientes secuencias, que permiten garantizar su correcto montaje:

2.8.1. Sistema 1: Elemento Pistón/Biela

- Verificar las dimensiones y tolerancias en planos de taller.
- Colocar una pequeña capa de aceite sobre las chaquetas (Bronce) y la cabeza de vástago de la biela.
- Colocar la chaqueta superior e inferior en cabeza de la biela.
- Colocar el shin en la base de la cabeza superior de la biela.

Nota: Este elemento evita movimiento de las chaquetas sobre la superficie del pistón y las mantiene fijas.

- Colocar pernos de cabeza allen con su respectiva rodela de presión sobre la cabeza de biela.
- Ajustar pernos con 20 lbf (Torque de 20 lbf).

- Revisar y comprobar chaquetas (revisar que no existan remordeduras y sobreajuste).
- Comprobar movimiento libre de bulón sobre cabeza inferior de a biela.
- Comprobar deslizamiento giratorio libre entre las superficies del pistón y biela (En la mitad del pistón, caras).
- Calentar a 120°C el Pistón.
Nota: Este paso permite mejorar la inserción del bulón en la biela y evita problemas de ovalamientos.
- Montar en orden bulón, pistón y biela.
- Prensar bulón sobre pistón hasta la mitad de la sección.
- Guiar pistón en la biela y entre el espacio del bulón y la biela.
Nota: Colocar un acople de Grilon para la inserción de los compontes para evitar avollamientos en la superficie del pistón.
- Colocar pistón sobre el saliente del bulón, para guiar al mismo y seguir con el montaje.
Nota: Tomar siempre en cuenta la posición y lado de montaje de la biela.
- Verificar que la inserción del bulón sobre el pistón este simétrico
- Prensar hasta tope de guía.
Nota: Verificar que no existan aristas vivas producidas en el ensamble.
- Colocar una pequeña capa de aceite en el sistema.
- Comprobar funcionamiento.

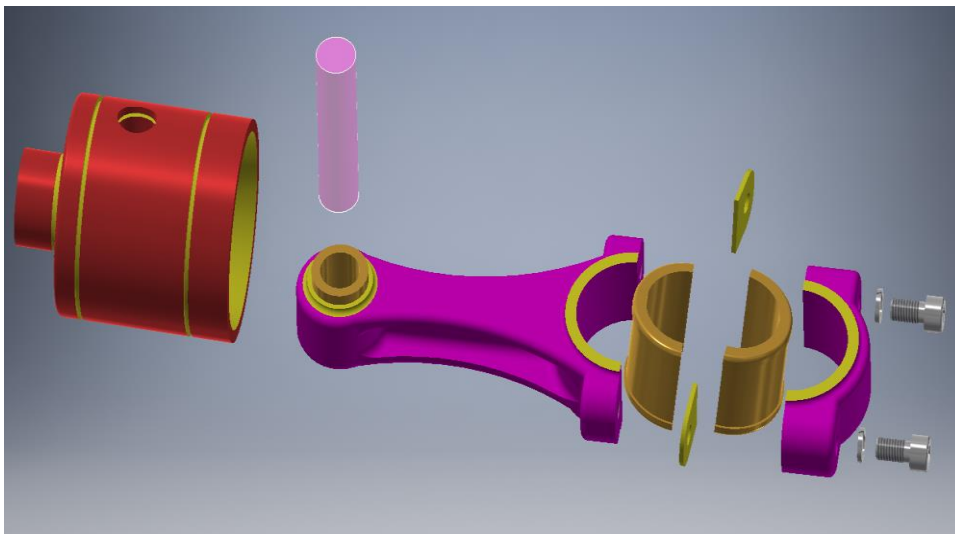


Figura 2.32. Secuencia de ensamble pistón/biela.

(Fuente propia)



Figura 2.33. Ensamble pistón/biela.

(Fuente propia)

2.8.2. Sistema 2: Elemento Pistón/Cigüeñal

- Verificar las dimensiones y tolerancias de los elementos en los planos de taller.
- Determinar secuencia de bielas y muñones de cigüeñal.
- Desarmar cabezas de bielas y colocar en orden analógico sobre los muñones de cigüeñal.
- Nota: Colocar en orden numérico preseleccionado las secciones de caras de bielas y chaquetas.

Nota: Se recomienda enumerar los elementos.

- Colocar chaqueta de biela 1 sobre, muñón 1 de cigüeñal, pre ajustar cabeza de biela con chaquetas y shin.

Nota: Se recomienda colocar una pequeña capar de aceite o vaselina sobre el muñón del cigüeñal, para que el sistema se asiente.

- Ajustar pernos de cabeza de biela con sus respectivas rodela de presión con un torque de 20 lbf.
- Comprobar funcionalidad.
- Repetir los pasos 4) Y 6) para las secciones de los muñones 2 y 3 de la biela/cigüeñal.
- Comprobar funcionamiento manual.
- Comprobar funcionamiento a varias revoluciones.

Nota: El movimiento debe ser libre sin atascamiento, para garantizar el correcto ajuste y montaje de los elementos.

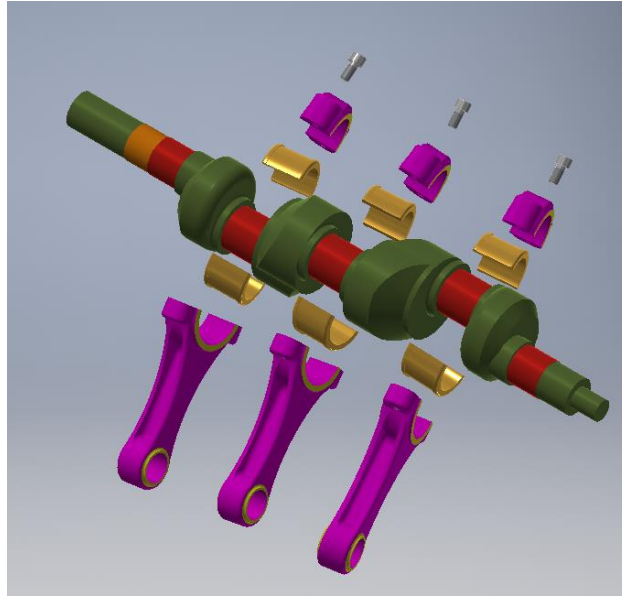


Figura 2.34. Secuencia de ensamble pistón/cigüeñal
(Fuente propia)

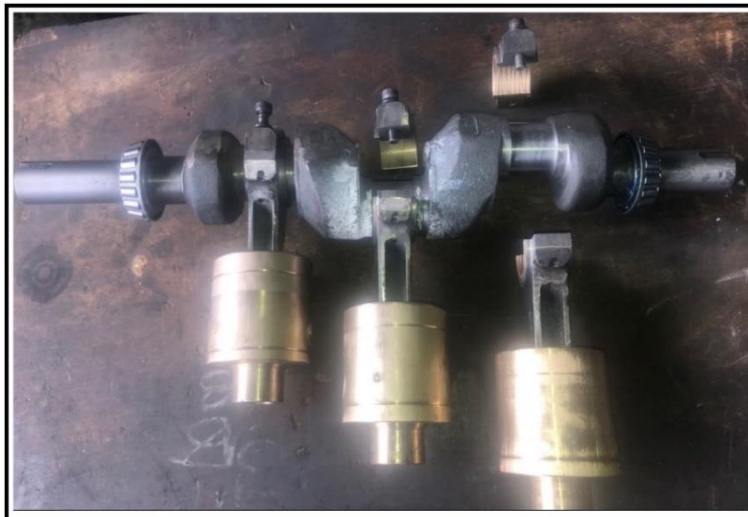


Figura 2.35. Ensamble pistón/cigüeñal
(Fuente propia)

2.8.3. Sistema 3: Elemento Tapas/Cigüeñal/Carcasa

- Verificar las dimensiones y tolerancias en los planos de taller.
- Colocar y guiar pista del rodamiento cónico 3055 sobre alojamiento de rodamiento de la tapa lateral 1.
- Prensar pista del rodamiento hasta tope primario.

Nota: Realizar el mismo procedimiento para tapa lateral 2.

- Colocar y guiar retenedor sobre superficie de porta retenedor de tapa lateral 1
- Prensar retenedor hasta el tope secundario.

Nota: Realizar el mismo procedimiento para retenedor de la tapa lateral 2.

- Calentar rodamiento a 120°C en horno.
- Colocar rodamiento sobre la base 1 del cigüeñal.

Nota: El rodamiento a esta temperatura debe ingresar con un ajuste deslizante, para comprobar su tolerancia.

- Realizar el mismo procedimiento para la base 2 del cigüeñal.
- Colocar empaque de tapa lateral 1.

Nota: Empaque realizado con papel victoria.

- Colocar tapa lateral 1, sobre sección soporte 1 de carcasa.

Nota: Guiar perforaciones de carcasa y empaque antes de colocación de pernos

- Colocar 6 pernos M8x1.25 sobre la guía y ajustar.
- Dar un ajuste de 5 lbf en cada perno.

Nota: Realizar el mismo procedimiento para retenedor de la tapa lateral 2.

- Verificar funcionamiento de giro de cigüeñal.

Nota: Comprobar que exista ajuste deslizante indicado de rodamientos (Sin juego), sin ningún tipo de ajuste y remordeduras.

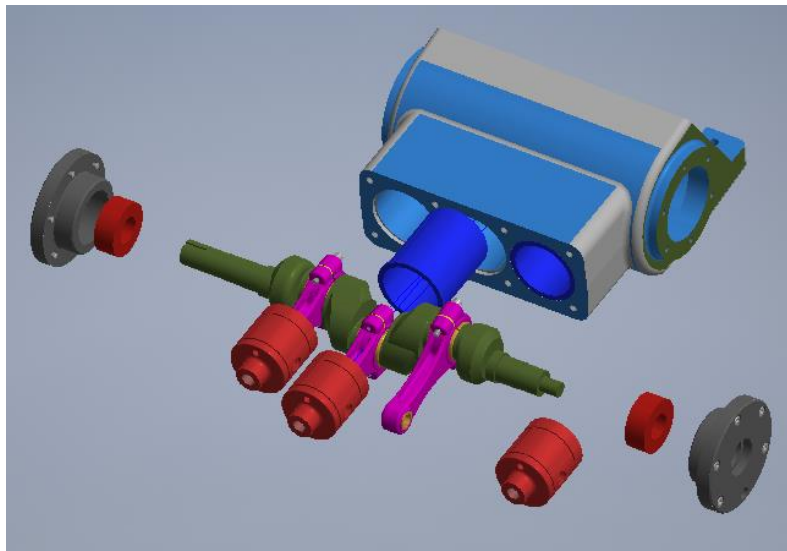


Figura 2.36. Secuencia de ensamble Tapas/Cigüeñal/Carcasa.

(Fuente propia)



Figura 2.37. Ensamble Tapas/Cigüeñal/Carcasa.

(Fuente propia)

2.8.4. Sistema 4: Elemento Separador/Carcasa

- Verificar las dimensiones y tolerancias en los planos de taller.
- Colocar espárragos sobre carcasa.
 Nota: Colocar 8 espárragos, sección gruesa en la carcasa (Espárragos 7/16 G) y rosca fina en separador.
 Recomendación: Se recomienda colocar en los espárragos rosca gruesa, loctite 277 rojo e instalar. Se recomienda para la colocación de los espárragos utilizar dos tuercas en su instalación (sistema contratuerca).
- Centrar cilindros de carcasa, con perforaciones de separador.
 Nota: Esto garantiza que no exista algún tipo de choque entre el pistón y la base del separador, al momento de las pruebas de funcionamiento.
- Colocar Empaque en base carcasa.
 Nota1: Colocar cuidadosamente, revisar el lado de instalación del empaque (perforaciones o simétricas, el sistema tiene lado para su instalación).
 Nota2: Instalar el empaque con ayuda de silicona gris, el cual garantiza su hermeticidad.
- Colocar base carcasa, empaque, y base separador.
- Colocar rodela de presión y su respectiva tuerca de seguridad.
- Ajustar sistema con 5 toneladas.
- Realizar prueba de verificación.
 Nota: comprobar que el sistema este centrado y no exista choque de los elementos.

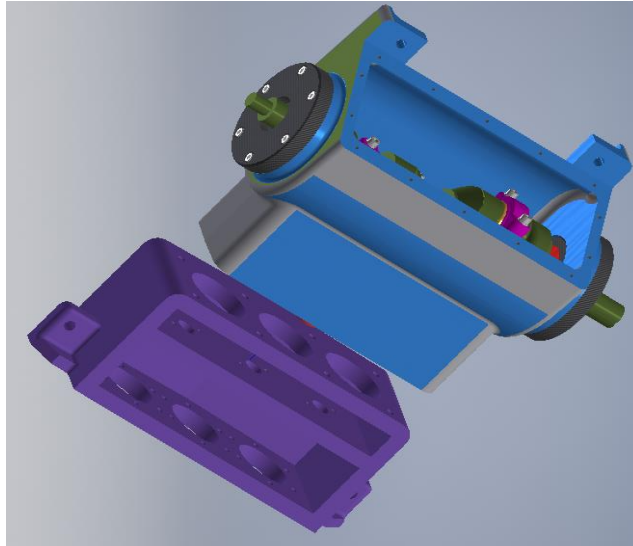


Figura 2.38. Secuencia de ensamble Separador/Carcasa.
(Fuente propia)



Figura 2.39. Ensamble Separador/Carcasa.
(Fuente propia)

2.8.5. Sistema 5: Carcasa/Separador/Cámaras

- Verificar las dimensiones y tolerancias de los elementos en los planos de taller.
- Instalar prensa estopas en bridas de aceite.
Nota: Verificar que no exista fugas y que corra libremente el inyector de cada prensa estopa de aceite.
- Colocar bridas de aceite en separador.
- Colocar los pernos $\frac{1}{4}$ G para guiar y comprobar su lado.
- Colocar rodela de presión y ajustar.

- Instalar inyectores en cada pistón.
- Ajustar inyectores y colocar tuerca trabadora.
 Nota 1: No tienen orden los inyectores, para su instalación se recomienda realizar un cuadrado en la punta de inyección de cámara, para garantizar su ajuste, se recomienda utilizar loctite 277 rojo en la rosca para garantizar su sujeción.
 Nota 2: La tuerca trabadora funciona como una contratuerca y evita que exista desajuste.
- Instalar rodela de tope en la cámara.
- Colocar varios prensa estopa con la forma de la perforación de la cámara hasta el tope superior.
 Nota: Se recomienda dar la forma de las prensas estopa con un eje cónico de las mismas dimensiones del inyector.
- Instalar brida agua.
- Ajustar los cuatros pernos allen.
- Comprobar movilidad entre la prensa estopa de agua y el inyector.
- Repetir el paso 11 y 12 hasta obtener un movimiento libre, pero sin presencia de escape de fluido.
 Nota: Este sistema garantiza el funcionamiento de la bomba debido a que permite obtener el vacío y por ende el accionamiento de la válvula de succión.
- Repetir los pasos para los demás cámaras.
- Colocar cámaras sobre inyectores.
 Nota: Centrar correctamente inyector, y comprobar manualmente que el movimiento sea perpendicular y sin remordeduras.
- Instalar cámaras en separador y guiar perforaciones.
- Colocar pernos M10 x 1.5.
 Nota1: acoplar correctamente cámara, y perforaciones (Elementos numerados).
 Nota2: Colocar silicón gris para garantizar que no exista fugas.
- Ajusta pernos de todas las cámaras y comprobar que no exista fugas.
- Colocar tapa de separador.
 Nota: Colocar tapa con silicona, para garantizar el sello.
- Verificar ajustes y comprobar funcionamiento.
 Nota: Se recomienda para la verificación del inyector en las prensa estopas colocar vaselina en todo el elemento del inyector y accionar.

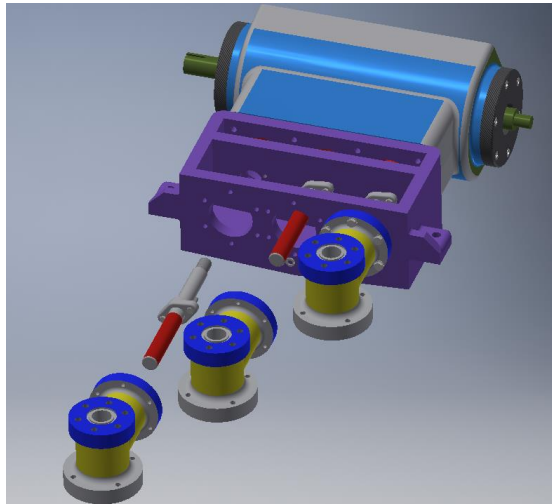


Figura 2.40. Secuencia de ensamble carcasa /separador/cámaras.
(Fuente propia)

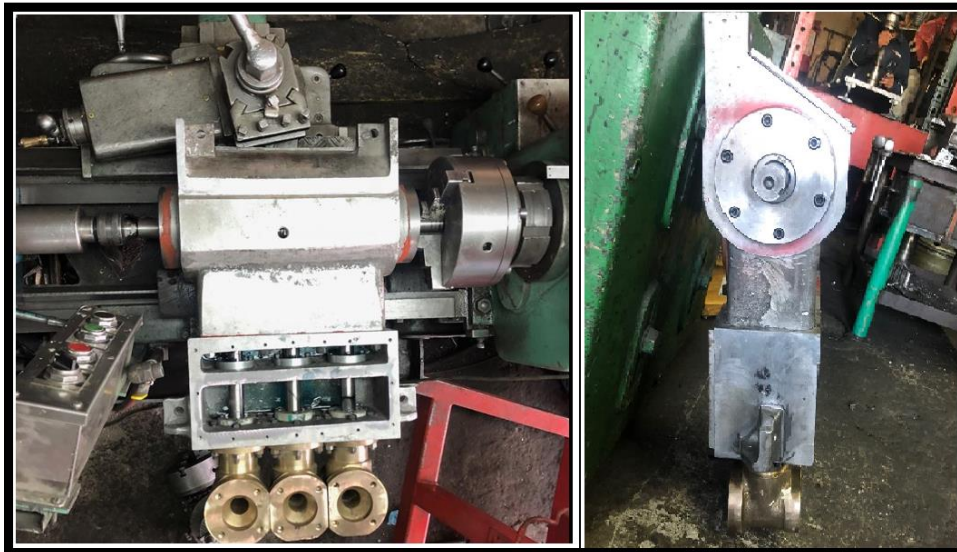


Figura 2.41. ensamble carcasa /separador/cámaras.
(Fuente propia)

2.8.6. Sistema 6: Cámaras

- Verificar las dimensiones y tolerancias de los elementos en los planos de taller.
- Puesta punto de válvulas de succión y descarga.
- Comprobación de superficie de válvula de succión.
Nota: Comprobar que no exista aristas vivas en la superficie.
- Colocar empaques de válvula de succión.
- Colocar silicona en la superficie de asiento de cámara y múltiple de succión.
- Instalación de válvula de succión sobre cámara.

Nota: Comprobar que las válvulas estén bien asentadas y no exista ningún tipo de cuerpo extraño.

- Realizar el mismo procedimiento para las dos válvulas restantes.
- Colocar brida de succión sobre las tres válvulas.

Nota: Comprobar posiciones, que no existe torceduras y que el sistema esté completamente asentado sobre la superficie.

- Colocar pernos de cabeza hexagonal con su respectiva rodela de presión y ajustar.
- Comprobar que no exista fugas en el sistema de succión.
- Comprobación de superficie de válvula de descarga.
- Colocar silicona en la superficie de asiento de cámara y múltiple de descarga.
- Colocar empaques de válvula de descarga.
- Instalar válvula de descarga.
- Instalar las dos válvulas restantes.
- Instalar brida de descarga.

Nota: Comprobar posiciones, que no existe torceduras y que el sistema esté completamente asentado sobre la superficie.

- Colocar y ajustar pernos de cabeza allen.
- Comprobar que no exista ningún tipo de fuga en el sistema.
- Realizar prueba rutinaria (Accionamiento de válvulas).
- Reajustar elementos.
- Comprobar Funcionamiento.

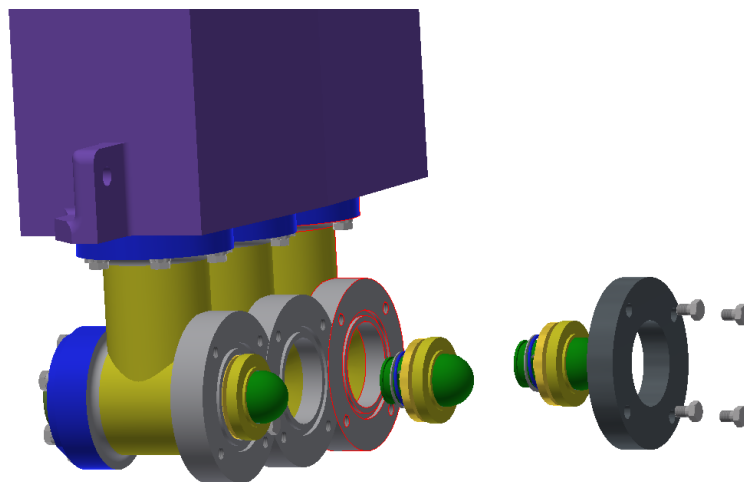


Figura 2.42. Secuencia de ensamble de válvulas de succión.

(Fuente propia)

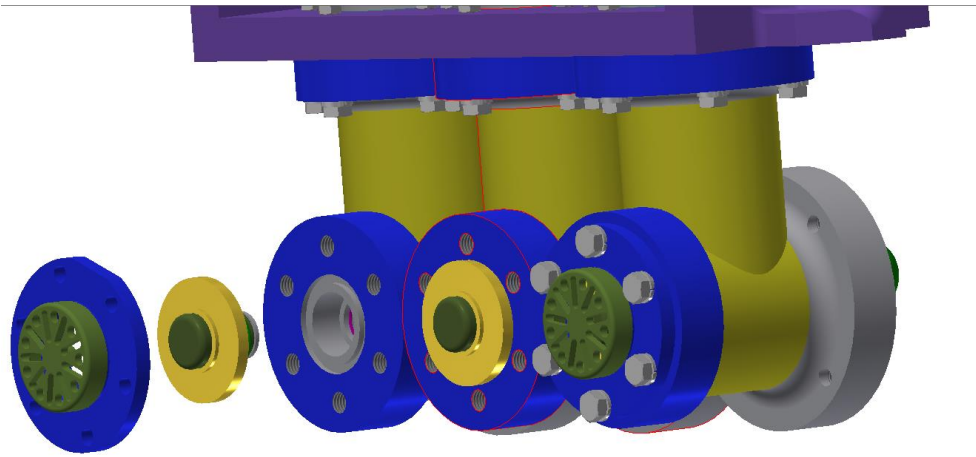


Figura 2.43. Secuencia de ensamble de válvulas de descarga.
(Fuente propia)



Figura 2.44. Instalación de válvulas de descarga.
(Fuente propia)

2.8.7. Sistema 7. Ensamble final

- Verificar las dimensiones y tolerancias de los elementos en os planos de taller.
- Colocar bridas, sobre válvulas de succión.

- Colocar pernos M12x1.125 y ajustar.
- Colocar sobre las válvulas de succión tubo de 2".
- Centrar tubos V y puntear.
Nota: Colocar 4 puntos de soldadura (mínimo).
- Roscar dos secciones de tubo lateral de 2" para acoples.
- Colocar tubo lateral sobre los tubos V y puntear.
- Desarmar sistema.
- Soldar tubería (Múltiple de succión).
- Instalar múltiple de succión sobre válvulas de succión.
- Instalar acoples para suministros de agua.
- Colocar válvulas de descarga.
- Colocar sobre las válvulas de descarga tubo de 1 ½".
- Centrar tubos V y puntear con suelda.
Nota: Colocar 4 puntos de soldadura (mínimo).
Nota: Se recomienda soldar con el proceso GMAW y posterior realizar una prueba de sondeo visual
- Roscar dos secciones de tubo lateral de 1 ½" para acoples.
- Colocar tubo lateral sobre los tubos V y puntear.
- Desarmar sistema.
- Soldar tubería (Múltiple de descarga).
- Instalar múltiple de descarga sobre válvulas de descarga.
- Instalar acoples manómetro y descarga de agua.
- Instalar en la sección derecha del múltiple de descarga el manómetro.
- Instalar llave de alta presión.
- Colocar aceite en carcasa.
Nota: Colocar aceite hasta nivel medio.
Nota: Verificar los niveles de aceite
- Colocar tapa sobre carcasa.
Nota: Instalar tapa con silicón gris.
- Colocar sistema de retorno de aceite entre la carcasa y el separador.
- Verificar que no exista fugas.
- Prueba de funcionamiento.



Figura 2.45. Bomba triplex vista frontal.
(Fuente propia)



Figura 2.46. Bomba triplex vista lateral.
(Fuente propia)

2.9. Protocolo de pruebas

Una vez construida la bomba triplex, se realizará un protocolo de pruebas para la comprobación del funcionamiento de la bomba, de tal manera que se realiza una serie de pruebas para determinar el desempeño de la máquina a diferentes sistemas de trabajo y para comprobar el funcionamiento de los principales mecanismos de la misma.

Las pruebas realizadas permiten verificar y comprobar las condiciones de trabajo de la bomba, las especificaciones técnicas planteadas y su correcto funcionamiento a varias condiciones de trabajo.

2.9.1. Puesta a marcha Biela/manivela

La primera prueba a realizar es la puesta a marcha del sistema cigüeñal, pistón, biela también denominado sistema pistón manivela. El sistema se accionará con un torno paralelo, a diferentes revoluciones, permitiendo comprobar su funcionamiento a diferentes periodos de tiempo y ciclos de trabajo, comprobando que no exista ningún tipo de sonido inusual, remordeduras, trabamiento, recalentamientos y alteración del sistema, en general, el funcionamiento del sistema este correcto y sin alteraciones. En la tabla 2.23 se detallará la prueba realizada.

Tabla 2.23. Puesta a marcha Sistema biela/manivela.

#	Prueba	RP M	Duración	Proceso	Problemas	Mejoras	Observación
1	Manual	2	4	Puesta a marcha	Rozadura	Pulimento de chaquetas	Movimiento de sistema forzado
2	Máquina	42	10	Puesta a marcha	Remordedura	Lijado muñones de cigüeñal	Calentamiento y sonido de pistón 2 y 3
3	Máquina	88	10	Puesta a marcha	Fricción	Pulimento de muñones de cigüeñal	Calentamiento mínimo de pistón 2 y 3
4	Máquina	495	10	Puesta a marcha	S/N	Asentamiento	Funcionamiento correcto de pistones y bielas
5	Máquina	633	10	Puesta a marcha	S/N	S/N	Funcionamiento óptimo de pistones y bielas
6	Máquina	810	10	Puesta a marcha	S/N	S/N	Funcionamiento óptimo de pistones y bielas

(Fuente: Propia)

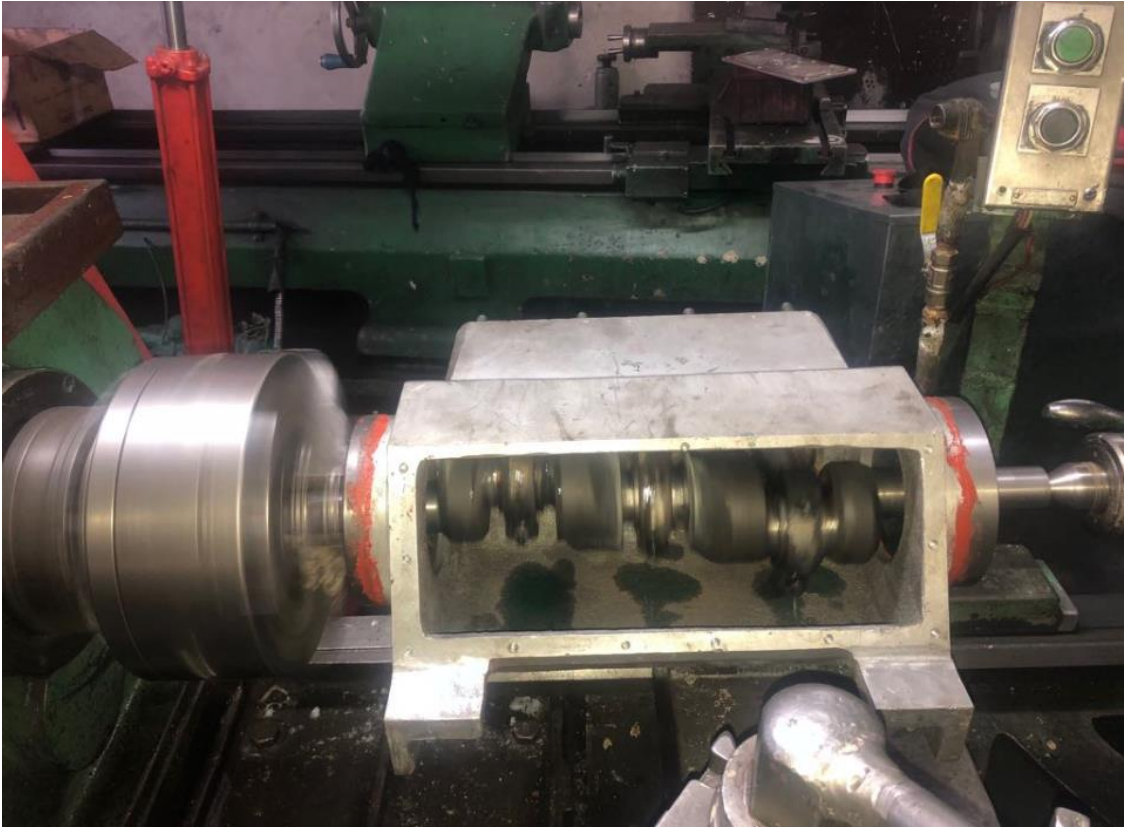


Figura 2.47. Prueba biela/manivela.
(Fuente propia)

2.9.2. Puesta a marcha de inyectores

La segunda prueba realizada es la puesta a marcha del sistema de inyectores. El cual consiste en el funcionamiento del cigüeñal, pistón y bielas a través de la carga producida por los inyectores en la prensa estopa de aceite. La prueba se realizó en un torno paralelo, a diferentes revoluciones, en el cual se determinará su funcionamiento a varios periodos de tiempo y cargas, producidos por los tres prensa estopa en los inyectores, comprobando que no exista ningún tipo de sonido inusual, remordeduras, trabamiento, golpes, choques, calentamiento y alteración del sistema, en general, el correcto funcionamiento del sistema a varias cargas. En la tabla 2.24 se detallará la prueba realizada.

Tabla 2.24. Puesta a marcha de inyectores.

#	Prueba	RPM	Dur	Proceso	Problemas	Mejoras	Observaciones
1	Máquina	88	2	Asentamiento	Roza miento	Aumento de diámetro de bridas	Rozamiento en bridas de aluminio
2	Máquina	88	10	Puesta a marcha	Desprendimiento	Colocación de nuevas prensa estopas	Dstrucción de prensa estopas, excesivo ajuste y por ende demasiada fricción
3	Máquina	88	10	Puesta a marcha	Fricción	Colocación de nueva prensa estopa	
4	Máquina	170	10	Puesta a marcha	Ajuste	Desmontar y mejora de prensa estopa	Ajuste y trabamiento en inyector 2
5	Máquina	88	10	Puesta a marcha	S/N	Nivelación de inyectores en cámaras	Funcionamiento correcto
6	Máquina	170	10	Puesta a marcha	S/N	S/N	Funcionamiento optimo

(Fuente: Propia)

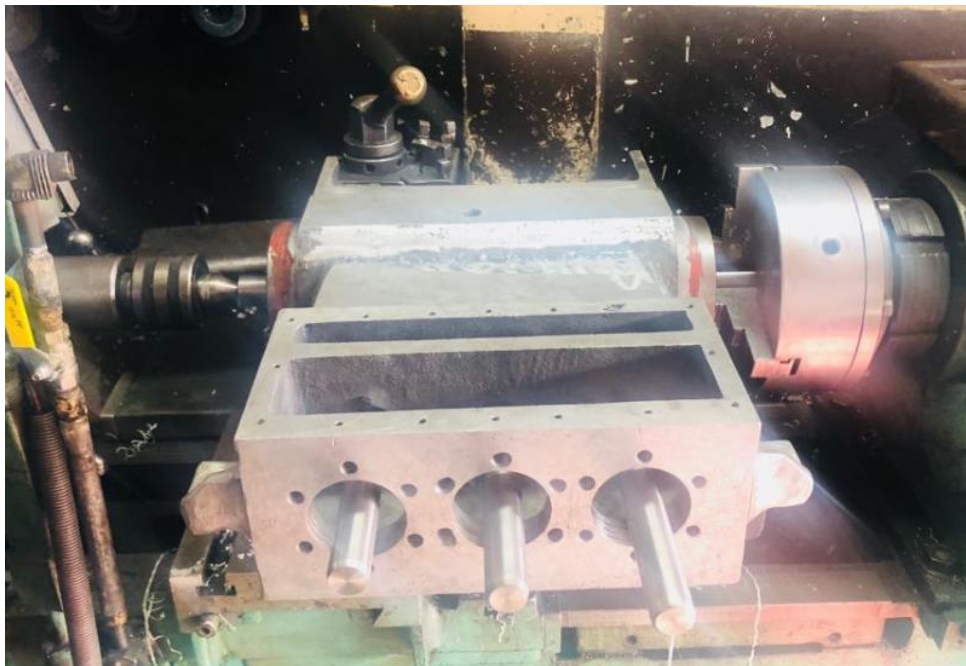


Figura 2.48. Prueba de inyectores.

(Fuente propia)

2.9.3. Puesta a marcha inyector/cámaras

La tercera prueba realizada es la puesta a marcha del sistema de los inyectores a través de las cargas de las prensa estopas de aceite sujetas en el separador y en especial de las prensa estopas de agua presentes en las cámaras. Se comprobará el comportamiento de todo el sistema a través de estas cargas y a diferentes periodos de tiempo. Además, se determinará que no exista desnivelaciones y choques de los inyectores en las cámaras.

La prueba se realizó en un torno paralelo, a diferentes revoluciones, en el cual se determinará su funcionamiento a varios periodos de tiempo, comprobando que no exista ningún tipo de recalentamiento provocado por la fricción entre los inyectores y las prensa estopa, así como sonido inusual, remordeduras, trabamiento, choques y alteración del sistema, en general, el funcionamiento de los inyectores a través de la prensa estopas. Permitiendo verificar su correcto funcionamiento. En la tabla 2.25 se detallará la prueba realizada.

Tabla 2.25. Puesta a marcha de inyectores/cámaras.

#	Prueba	RPM	Duración	Proceso	Problemas	Mejoras	Observaciones
1	Máquina	88	5	Puesta a marcha	Choque	Achaflanado de inyectores con radio de acuerdo 10 mm	Choque entre cámara 2 e inyector 2
2	Máquina	88	10	Puesta a marcha	Fricción/Trabamiento	Posicionamiento de prensa estopas, con punto centro de inyectores	Fricción de inyector 1 y 2 con prensa estopa de agua(Grilon) y Desnivelación de inyectores con 5°
3	Máquina	88	10	Puesta a marcha	Paso de aceite	Cambio de prensa estopas	Mínima sujeción de prensa estopas con inyectores paso de fluido a través de sello
4	Máquina	88	5	Puesta a marcha	Paso de aceite	Ajuste de prensa estopas	Mínima sujeción de prensa estopas con inyectores paso de fluido a través de sello
5	Máquina	170	10	Puesta a marcha	Paso de aceite	Reajuste de prensa estopas	Goteo de aceite a altas revoluciones
6	Máquina	170	10	Puesta a marcha	S/N	S/N	Funcionamiento optimo

(Fuente: Propia)

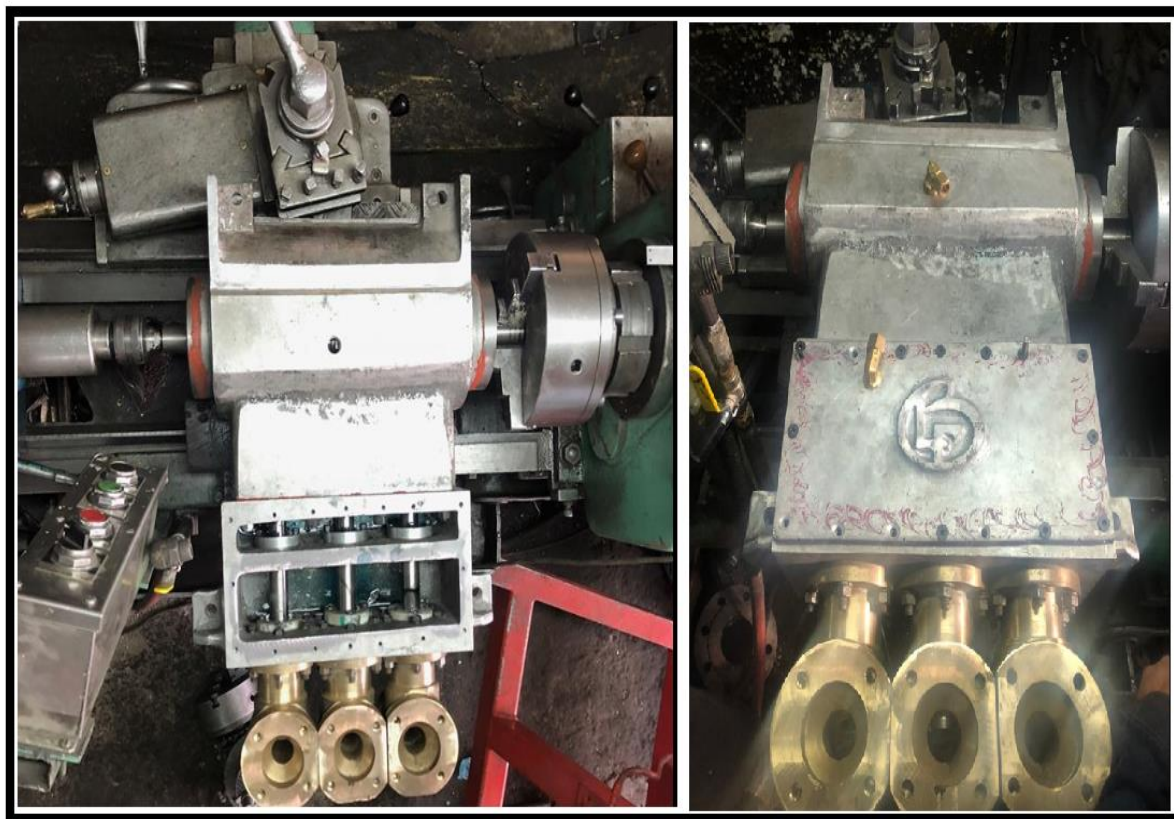


Figura 17. Prueba de inyectores/cámaras.
(Fuente propia)

2.9.4. Prueba de bombeo (funcionamiento)

La prueba de bombeo se la realizo por medio del accionamiento de un torno paralelo a 144 RPM constantes, el sistema de lubricación se lo realizo con aceite hidráulico 50W y el fluido que se utilizó en la prueba de bombeo es agua. La misma que se suministró de una toma de agua convencional. En el cual se verifico la hermeticidad de la bomba, la potencia de la bomba y la carga de la misma, permitiendo generar el vacío necesario para el correcto accionamiento de las válvulas.

En la prueba se verifico que no exista choques en el sistema, fugas y ningún tipo de problema funcional. En la tabla 2.26 se muestra la prueba de bombeo realizada a la bomba triplex

Tabla 2.26. Prueba de bombeo.

N°	Prueba	RPM	Duración	Proceso	Presión	Observaciones
#		Rev/min	min		PSI	
1	Máquina	88	5	Bombeo	70	Presión Variante
2	Máquina	88	10	Bombeo	75	Presión Variante
3	Máquina	144	5	Bombeo	95	Presión Variante
4	Máquina	144	10	Bombeo	100	Presión Variante
5	Máquina	184	5	Bombeo	200	Falla de cámaras
6	Máquina	184	5	Bombeo	50	Fugas en Cámaras, pérdida de presión

(Fuente propia)

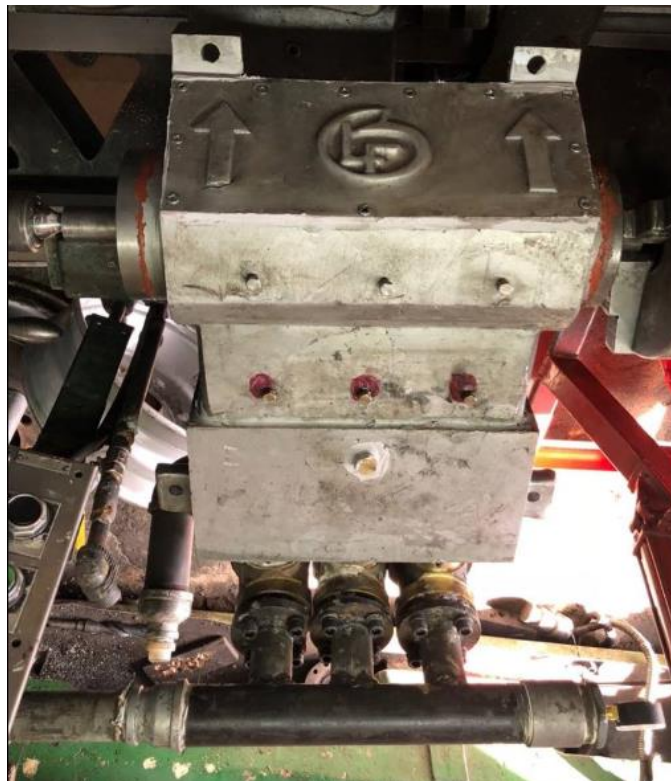


Figura 2.50. Prueba de bombeo.

(Fuente propia)

2.10. Costos

En esta sección se detallará los costos de fabricación de los diferentes elementos utilizados para la construcción de la bomba triplex, costos de los procesos de mecanizado, costos de adquisición de elementos normalizados, ensamble e instalación de la bomba y costos indirectos de fabricación. De tal manera que se desglosara los costos directos e indirectos utilizados para la obtención de la bomba.

Costos Directos:

- 1) Costos de materia prima.
- 2) Costos de procesos de mecanizado.
- 3) Costos de elementos normalizados.
- 4) Costos de ensamble.
- 5) Costos de operación (pruebas).

Costos Indirectos

- 1) Costos de rediseño.
- 2) Costos de planificación.
- 3) Costos de manufactura indirectos.
- 4) Costos terciarios.

Para determinar los costos finales de la fabricación de la bomba triplex se tiene que determinar cada uno de los costos directos e indirectos y sumar los mismos.

Los costos de materia prima inicial de los elementos principales que conforman la bomba triplex fueron obtenidos a través de tres proyectos de titulación los cuales son: Diseño y construcción de cigüeñal, bielas y tapas de rodamientos en fundición nodular de una bomba triplex émbolo; Diseño y fabricación de un pistón y una cámara de presión de bronce al aluminio para un prototipo de una bomba reciprocante; Diseño y fabricación por fundición del sistema de soporte y conexión para un prototipo de bomba de desplazamiento positivo. De tal manera que los costos de estos elementos serán referenciales. Los elementos restantes se obtuvieron a través de proveedores de materiales y servicios locales ubicados en la ciudad de Quito-Ecuador como se detallará a continuación en las tablas siguiente.

2.10.1. Análisis de costos directos de fabricación

2.10.1.1. Costos de materia prima

La materia prima que se requirió para la construcción de la bomba reciprocante de triple émbolo se detalla a continuación en la tabla 2.27.

Tabla 2.27. Costos de materia prima.

Denominación	Cantidad	Material	Especificaciones Técnicas	Costos Unitarios	Costos Totales	Proveedores	Observaciones
Carcasa	1	Aluminio	Fund. 120 x 120mm	500	500	EPN	Costos Estimados
Separador	1	Aluminio	Fund. 120 x 120mm	450	450	EPN	Costos Estimados
Cámara	3	Bronce al aluminio	Fund. 120 x 120mm	300	900	EPN	Costos Estimados
Pistón	3	Bronce al aluminio	Ø 85 x 110 mm	100	300	EPN	Costos Estimados
Cigüeñal	1	Fundición gris	Fund. Ø 95x 550 mm	350	0	EPN	Costos Estimados
Biela	3	Fundición gris	Fund. 30x94x115 mm	60	180	EPN	Costos Estimados
Tapas Laterales	2	Fundición gris	Fund. Ø 160x 50 mm	80	160	EPN	Costos Estimados
Tapa Carcasa	1	Aluminio	Fund. 360x105x10 mm	50	50	EPN	Costos Estimados
Tapa Separador	1	Aluminio	Fund. 360x165x10 mm	50	50	EPN	Costos Estimados

Camisas	3	Fundición gris	Ø 87 x 140 mm	13	39	Rectificadora MARLON	Fundición acido/resistente con estructura austenítica
Prensa estopa Agua	3	Grilon	Ø 3" x 25 mm	10	30	BHOLER	
Prensa estopa Aceite	3	Aluminio	Ø 3" x 25 mm	12	36	BHOLER	
Brida succión	3	Acero A-36	Ø 120 x 20 mm	10	30	BHOLER	
Brida Descarga	3	Acero A-36	Ø 100 x 20 mm	10	30	BHOLER	
Acople cigüeñal	2	Acero A-36	Ø 100 x 20 mm	10	20	BHOLER	
Acople válvula de succión	1	Acero A-36	Ø 100 x 20 mm	8	8	BHOLER	
Acople válvula de descarga	1	Acero A-36	Ø 120 x 20 mm	8	8	BHOLER	
Acople separador	1	Acero A-36	Ø 60 x 20 mm	8	8	BHOLER	
Acople prensa estopa	1	Acero A-36	Ø 100 x 20 mm	8	8	BHOLER	
Inyector	3	Acero Inoxidable	Ø 25,4 x 280 mm	15	45	IVAN BOHMAN	
Pasador Biela/manivela	3	SAE 705	Ø 3/4" x 75 mm	5	15	IVAN BOHMAN	
Total					2867		

(Fuente: Propia)

2.10.1.2. Costos de operaciones de mecanizado

Estos costos están previstos de todas las operaciones de mecanizado realizadas para la fabricación de los elementos mecánicos constituyente de la bomba triplex. En la tabla 2.28 se desglosa el costo de mecanizado.

Tabla 2.28. Costos de operaciones de mecanizado.

Operaciones			Torno		Fresa dora		Rectifica dora		Taladro		Solda dora		\$/Piez a	Tota l
			Hor a	\$/ H	Hor a	\$/ H	Hor a	\$/ H	Hor a	\$/ H	Hor a	\$/ H		
Denominación	Cantida d	Esp.Técnicas												
Carcasa	1	Fund. 120 x 120mm	4	12	5	15	4	15	2	4		8	191	191
Separador	1	Fund. 120 x 120mm		12	8	15	1	15	6	4		8	159	159
Cámara	3	Fund. 120 x 120mm	6	12	1	15		15	6	4		8	111	333
Pistón	3	Ø 85 x 110 mm	5	12		15		15	0,5	4		8	62	186
Cigüeñal	1	Fund. Ø 95x 550 mm	6	12	1	15	4	15	2	4		8	155	155
Biela	3	Fund. 30x94x115 mm	4	12	4	15		15	1	4		8	112	336
Tapas Laterales	2	Fund. Ø 160x 50 mm	3	12		15		15	1	4	0,5	8	40	80
Tapa Carcasa	1	Fund. 360x105x10 mm		12	1,5	15		15	1	4		8	26,5	26,5

Tapa Separador	1	Fund. 360x165x10 mm		12	1,5	15		15	1	4		8	26,5	26,5
Camisas	3	Ø 87 x 140 mm	0,5	12		15	2	15		4		8	36	108
Prensa estopa Agua	3	Ø 3" x 25 mm	2	12		15		15	1	4		8	28	84
Prensa estopa Aceite	3	Ø 3" x 25 mm	2	12		15		15	1	4		8	28	84
Inyector	3	Ø 25,4 x 280 mm	3	12		15		15		4		8	36	108
Costos de acoples Cigüeñal	2	Ø 250 x 80 mm	1	12	1	15		15		4		8	27	54
Costos de acoples Cámara	3	Ø 180 x 20 mm	1,5	12	1	15		15	1	4		8	37	111
Acople cigüeñal	2	Ø 100 x 20 mm	2	12	1	15		15	1	4		8	43	86
Acople válvula de succión	1	Ø 100 x 20 mm	2	12		15		15	1	4		8	28	28
Acople válvula de descarga	1	Ø 120 x 20 mm	2	12		15		15	1	4		8	28	28
Acople separador	1	Ø 60 x 20 mm	2	12		15		15	1	4		8	28	28
Acople prensa estopa	1	Ø 100 x 20 mm	2	12		15		15	1	4		8	28	28
Bridas Succión	3	Ø 120 x 20 mm	2	12	0,5	15		15	0,5	4		8	33,5	100, 5
Bridas Descarga	3	Ø 100 x 20 mm	2	12	0,5	15		15	0,5	4		8	33,5	100, 5
Total														2441

(Fuente: Propia)

2.10.1.3. Costo de elementos normalizados

En este punto se detalla los costos de los elementos normalizados, adquiridos en el mercado local. En la tabla 2.29 se detalla los costos de adquisición de estos elementos

Tabla 2.29. Costos de elementos normalizados.

Elementos	Cant.	C/U	Costo Total	Proveedor
Válvula de succión	3	200	600	Acero comercial
Válvula de descarga	3	150	450	Acero comercial
Rodamientos C3055	2	25	50	Casa del Ruliman
Retenedores	2	12	24	Casa del Ruliman
Prensa Estopas (con grafito) 6mm	1	25	25	Ferretería Navas
Prensa Estopas (con grafito) 4mm	1	15	15	Ferretería Navas
Espárragos 7/16 G	8	1,2	9,6	Castillo Hrm.
Tuercas 7/16 G	8	0,25	2	Castillo Hrm.
Pernos M10x1.5	18	0,5	9	Castillo Hrm.
Tuercas M10x1.5	18	0,2	3,6	Castillo Hrm.
Pernos 5/16 G	24	0,3	7,2	Castillo Hrm.
Tuercas 5/16 G	24	0,1	2,4	Castillo Hrm.
Pernos M8X1,25	12	0,35	4,2	Castillo Hrm.
Tuercas M8X1,25	12	0,1	1,2	Castillo Hrm.

Tuercas 1" G	3	1,1	3,3	Castillo Hrm.
Pernos 1/4" G	24	0,2	4,8	Castillo Hrm.
Tuercas 1/4" G	24	0,05	1,2	Castillo Hrm.
Pernos 3/8" G	18	0,5	9	Castillo Hrm.
Tuercas 3/8" G	18	0,2	3,6	Castillo Hrm.
Pernos allen 3/8 G	6	0,7	4,2	Castillo Hrm.
Sistema primario de lubricación	1	25	25	Comercial Razo
Tapones 1/4 Tubo	6	4	24	Comercial Razo
Tapones 1/4 Tubo	1	8	8	Comercial Razo
Total			1229,3	

(Fuente: Propia)

2.10.1.4. Costos de ensamble y pruebas

En la tabla 2.30 se describe los costos de montaje de los elementos mecánicos, en los cuales se incluyen los costos del protocolo de pruebas.

Tabla2.30. Costos de ensamble y pruebas.

Denominación	Cantidad	Esp. Técnicas	N°	\$/N	N°	\$/N	Hora	\$/H	Hora	\$/H	\$/Pieza	Total
Sistema Biela/Manivela	3	Prensado de pasador entre biela y pistón	2	5	1	4	1	10		5	24	72
Sistema carcasa	2	Tapas laterales/rodamiento	2	5		4	1	15		5	25	50
	2	Tapas laterales/retenedores	2	5	2	4	0,5	15		5	25,5	51
	3	Cigüeñal/biela		5		4		15	1	5	5	15
Sistema separador	3	Prensa estopas		5	3	4	5	15	2	5	97	291
Sistema Cámara	3	Instalación prensa estopas y afinado de inyectores		5	3	4	7	15	3,5	5	134,5	403,5
Sistema Válvulas de descarga	3	Instalación de válvulas y múltiple de salida	1	5	1	4	3	15	4	5	74	222
Sistema Válvulas de succión	3	Instalación de válvulas y múltiple de entrada	1	5	1	4	3	15	4	5	74	222
Sistema Bomba	1	Rectificaciones y puesta a punto		5	1	4	5	15	5	5	104	104
Total												1104,5

(Fuente: Propia)

2.10.1.5. Costos indirectos de fabricación

En la tabla 2.31 se detallan los costos indirectos de fabricación de la bomba triplex.

Tabla 2.31. Costos indirectos de fabricación.

Denominación	Cantidad	Esp.Tecnicas	Costos
Acople de mecanizado de cilindro(carcasa)	2	Útiles de mecanizado	50
Acople de mecanizado (bailarina)	2	Útiles de mecanizado	60
Perro de arrastre	1	Útiles de mecanizado	25
Material de prueba	1	Elementos utilizados para pruebas (rediseño de componentes)	60
Elementos de comprobación	1	Útiles de medición	42
Pernos de prueba	1	Elementos utilizados en primer ensamble y prueba (Rediseño componentes)	15
Logística	1	Coordinación de proyecto	50
Materiales de Limpieza	1	Gasolina, guapes, selladores	18
Materiales de ensamble	1	Empaste, silicona, aceite	35
Movilización	1	Movilización de maquinaria a talleres de elaboración	60
Total			415

(Fuente: Propia)

2.10.1.6. Costo total del proyecto

A continuación, se muestra los costos totales de la fabricación de una bomba recíproca de triple émbolo.

Tabla 2.32. Costo total de la bomba triplex.

Costos de Materia Prima	2441
Costos de Mecanizado	1229,3
Costos de Ensamble	1104,5
Costos de Elementos normalizados	1229,3
Costos indirectos de fabricación	415
Total	6419,1

(Fuente: Propia)

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Resultado

Los resultados obtenidos en la fabricación de la bomba triplex, están determinados en tres grupos importantes los cuales son: el mecanizado de los componentes, el ensamble de los elementos y las pruebas de funcionamiento.

3.1.1. Mecanizado de los componentes

El resultado obtenido de le mecanizado de los componentes, está determinado por varios factores de suma importancia, que se mostraron en el transcurso de este proceso, de tal manera, el proceso de mecanizado constó de varios puntos para su obtención los cuales son:

- 1) Mecanizado inicial de los elementos.
- 2) Defectos de materia prima y mecanizado.
- 3) Elemento terminado.

A continuación, se describe el resultado de cada elemento obtenido por el proceso de mecanizado por arranque de viruta.

3.1.1.1. Pistón

1) Mecanizado

El pistón presenta una fundición de bronce al aluminio de tal manera que la herramienta de corte adecuada para este material es una cuchilla HSS (Acero rápido), pero la fundición presenta gran dureza al momento de mecanizar de tal manera que se optó por el uso una cuchilla de widia para su mecanizado e incluso se recurrió al uso de amoladora para la eliminación de incrustaciones de silicio. El proceso se lo realizo con ayuda de dos máquinas herramientas tales como el torno y la fresadora.

2) Defectos de materia prima y mecanizado

Se presentó varios problemas de fundición en el pistón tales como: falta de fusión porosidades e incrustaciones de gran proporción. Las mismas que fueron solucionadas por medio del proceso de soldadura oxiacetilénica (suelda amarilla),

para posteriormente realizar su proceso de mecanizado y tener el elemento con las disposiciones de los planos de taller.

En el mecanizado se presentó, un problema de posicionamiento en la perforación del bulón de sujeción, el cual se realizó en un solo pase en la fresadora obteniendo una desviación (desvió de 4 mm), de tal manera que se imposibilitaba el ensamble del bulón y la biela. Este problema de mecanizado se solucionó realizando un inserto de bronce a una de las perforaciones y seguidamente la soldadura oxiacetilénica (sueda amarilla), para realizar el mecanizado correcto de la perforación en dos secciones. En la figura 3.1. se muestra más detallados los problemas obtenidos en el pistón.

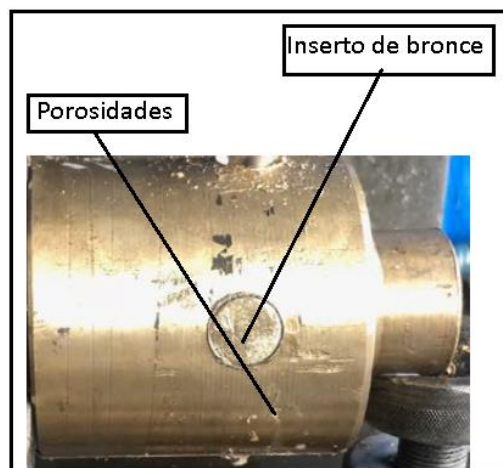


Figura 3.1. Problemas de mecanizado y fundición del pistón.
(Fuente propia)

3) Elemento terminado

En la figura 3.2. se muestra los pistones terminados con las disposiciones de diseño previstas en los planos de taller.



Figura 3.2. Pistón Terminado.
(Fuente propia)

3.1.1.2. Cámara

1) Mecanizado

La cámara presenta una fundición de bronce al aluminio de tal manera que la herramienta de corte óptima para este mecanizado sería una cuchilla HSS (Acero rápido), pero la fundición presenta gran dureza al momento de mecanizar de tal manera que se utilizó una cuchilla de widia y para ciertas secciones de cilindrado exterior una cuchilla de mayor dureza como el diamante, además de presentar varias incrustaciones de silicio que incluso con estas herramientas de corte las secciones no pueden ser mecanizadas de tal forma que se realizó varios cortes con la amoladora para eliminar los cuerpos extraños. El proceso se lo realizó con ayuda de máquinas tales como: el torno, la fresadora y el taladro.

2) Problemas de mecanizado y fundición

Se presentó varios defectos de fundición en las cámaras tales como: falta de fusión, porosidades, incrustaciones y presencia de rechupes, en general, presenta una mala fundición del elemento y por ende no se garantiza el funcionamiento de este componente a altas presiones.

El defecto más grave fue la aparición de porosidades que traspasaban toda la superficie de la cámara como se muestra en la figura 3.3. y 3.4. la cual era de gran envergadura. Los problemas de fundición fueron solucionados por medio del proceso de soldadura GTAW.

En la cámara 1, se presentó un defecto considerable como se muestra en la figura 3.3. en el cual se eliminó toda una sección debido a que presentaba una incrustación de gran proporción.



Figura 3.3. Defectos de fundición en la cámara.

(Fuente propia)



Figura 3.4. Defecto de fundición, Incrustación en cámara.
(Fuente propia)

En la figura 3.5. se muestran los defectos de fundición de cámara 2 y 3 (porosidades).



Figura 3.5. Defecto de fundición, Porosidades.
(Fuente propia)

3) Elemento terminado

En la figura 3.6. se muestra los elementos terminados con las disposiciones de diseño pre establecida en los planos de taller.



Figura 18. Cámara Terminada.
(Fuente propia)

3.1.1.3. Biela

1) Mecanizado

El mecanizado de la biela se realizó con dos herramientas de corte para el mecanizado preliminar se realizó con HSS y para el acabado final se utilizó una cuchilla de widia a altas revoluciones, las máquinas herramientas utilizadas para el mecanizado son: el torno, la fresadora, la sierra de cinta y el taladro.

2) Problemas de mecanizado y fundición

El pistón no presentó ningún tipo de problema de fundición en toda su estructura, además que fue un elemento de fácil mecanizado, permitiendo obtener el elemento, con todas las características y dimensiones deseadas.

3) Elemento terminado

En la figura 3.7. se muestra la biela terminada con las disposiciones previstas en los planos de taller.



Figura 3.7. Biela Terminada.

(Fuente propia)

3.1.1.4. Cigüeñal

1) Mecanizado

El cigüeñal presentó un gran reto al momento de mecanizar debido al grado de dificultad de obtención y exactitud, puesto que se realizó todo su proceso en un torno paralelo convencional. Para lo cual se contó con la ayuda de varios útiles y herramientas de mecanizado las cuales facilitaron la fabricación del elemento.

El mecanizado se lo realizo con cuchilla de widia, cuchilla de tronzar y piedra de rectificador para la obtención de su acabado superficial requerido, así como del ajuste deseado.

2) Problemas de mecanizado

En el mecanizado no se encontró ningún tipo de problema de fundición en toda la estructura del cigüeñal.

3) Elemento terminado

En la figura 3.8. se muestra el elemento terminado con las disposiciones de diseño.



Figura 3.8. Cigüeñal Terminado.

(Fuente propia)

3.1.1.5. Tapas Lateras

1) Mecanizado

El mecanizado de las tapas se lo realizo de manera sencilla en el torno paralelo y la fresadora, la herramienta de corte utilizada es HSS (acero rápido).

2) Problemas de mecanizado y fundición

En las dos tapas mecanizadas no se encontró defectos de fundición al momento de realizar la inspección visual, sino que al momento de mecanizar la sección del retenedor se presentó un defecto de falta de fusión, la misma que fue solucionada por un proceso de soldadura eléctrica y mecanizada con las condiciones y dimensiones establecidas en el diseño. En la figura 3.9. se muestra el defecto de fundición presente en los elementos.



Figura 3.9. Defectos de las tapas laterales.
(Fuente propia)

3) Elemento terminado

En la figura 3.10. se muestra el elemento terminado con las disposiciones de los planos de taller.



Figura 3.10. tapa lateral terminada.
(Fuente propia)

3.1.1.6. Carcasa

1) Mecanizado

El mecanizado de la carcasa se realizó con la ayuda de varios útiles y herramientas de mecanizado, las misma que presento una fundición de aluminio de buena calidad, debido a que en toda su mecanización no presentó ningún defecto de fundición, lo cual permite garantizar la funcionalidad del elemento. La fabricación del elemento se realizó con la fresadora, el torno y el taladro.

2) Problemas de mecanizado y fundición

En el mecanizado no se encontró ningún tipo de problema de fundición en toda la estructura de la carcasa. Pero se encontró mala disposición del diseño de fundición puesto que los cilindros presentaban mucha desviación referente al plano de taller. Por tal razón las distancias de los cilindros no son iguales, de tal manera que el ensamble tiene posición de instalación. Por otro lado, en el mecanizo se dispuso de varias adaptaciones a la máquina (fresadora) debido a la complejidad de las operaciones de mecanizado como se mostrarán a continuación en la figura 3.11. y 3.12.



Figura 3.11. falla de fundición en carcasa (disposición de cilindros).

(Fuente propia)



Figura 3.12. Dificultad de mecanizado en carcasa.

(Fuente propia)

3) Elemento terminado

En la figura 3.13. se muestra el elemento terminado con las disposiciones de diseño pre establecida.



Figura 3.13. Carcasa terminada.
(Fuente propia)

3.1.1.7. Separador

1) Mecanizado

El mecanizado del separador se realizó con máquinas convencionales tales como: torno, fresadora y taladro. El elemento tuvo gran complejidad al momento de realizar su fabricación de forma que se utilizó varios útiles y herramientas de mecanizado. Además, presento muchos defectos de fundición por tal motivo se tuvo que realizar soldaduras TIG y mecanizar las mismas secciones en varias ocasiones hasta obtener un elemento con las características preestablecidas en los planos de taller.

2) Problemas de mecanizado y fundición

El elemento presenta muchos defectos de fundición tales como la presencia de porosidades, fisuras, falta de fusión, discontinuidades y proyecciones metálicas. Los mismos que se mostraron en la inspección visual y al realizar las operaciones de procesamiento. Además, al realizar el mecanizado por desprendimiento de viruta existió problemas de desprendimiento de secciones, indicando mala calidad de fundición, el problema se mostró a lo largo de toda la fundición central como se muestra en la figura 3.14.



Figura 3.14. Defectos de fundición en el separador.

(Fuente propia)

3) Elemento terminado

En la figura 3.15. se muestra el elemento terminado con las disposiciones de diseño pre establecida.



Figura 3.15. Separador terminado.

(Fuente propia)

3.1.1.8. Inyector

El inyector fue construido de acero inoxidable con las características de diseño preestablecidas, el mismo que tuvo que ser rediseñado para satisfacer los cambios realizados en los elementos de montaje, en la figura 3.16 se muestra el elemento terminado.



Figura 3.16. Inyector.

(Fuente propia)

3.1.1.9. Prensa estopa de aceite

La brida de aceite fue fabricada de dura aluminio para que al contacto con los fluidos no presente ningún tipo de corrosión, el mismo fue diseñado con las características y especificaciones necesarias para su funcionamiento óptimo, además contando con el hecho que coloco una prensa estopa de grafito de 6 mm. en la brida para optimizar su sello entre el inyector y el separador. En la figura 3.17. se muestra el elemento terminado.



Figura 3.17. Prensa estopa de aceite.

(Fuente propia)

3.1.1.10. Prensa estopa de agua

La brida de agua se construyó de grilón puesto que la misma va a trabajar directamente con fluido corrosivo (agua) y su función es simplemente de ajustar a la prensa estopa de grafito con el inyector para evitar el paso del agua y haci obtener el vacío de acción. En la figura 3.18. se muestra el elemento terminado.



Figura 3.18. Prensa estopa de agua
(Fuente propia)

3.1.1.11. Chaquetas

Las chaquetas obtenías se las realizó de bronce fosfórico debido a sus características a altas revoluciones, la misma fue realizada de un solo elementos y dividida en su parte final, el mismo conto con los ajustes adecuados, tolerancias y detalles planteados en los planos de taller como se muestra en la figura 3.19.



Figura 3.19. Chaqueta
(Fuente propia)

3.1.1.12. Tapas

Las tapas obtenidas a través de fundición en un primer examen visual presentaron deformaciones (ovalamientos), porosidades y fisuras. Se determinó una fundición defectuosa del elemento. Los defectos se corrigieron con soldadura TIG y el mecanizado posterior, en la figura 3.20. se muestra la pieza terminada.



Figura 3.20. Tapa de suministro.
(Fuente propia)

3.1.2. Brida de descarga y succión

Las bridas de descarga y succión fueron construidas de acero A-36 con las disposiciones de diseño establecidas, de estos elementos se fabricó el sistema de salida o múltiple de salida y múltiple de entrada. En la figura 3.21. se muestra el múltiple de descarga.



Figura 3.21. Múltiple de descarga.
(Fuente propia)

3.1.2.1. Válvulas de succión y descarga

Las válvulas de succión y de descarga, iban a ser obtenidas por medio de un distribuidor nacional, pero debido a varios factores de mercadeo (falta de stock), no se obtuvo. De tal manera que se optó por fabricar las válvulas, las cuales no alcanzan a soportar presiones muy elevadas, con ellas se realizó las pruebas de funcionamiento de la máquina. En la figura 3.22. y 3.23. se muestran las válvulas fabricadas, las cuales permiten realizar las pruebas de funcionamiento.



Figura 3.22. Válvulas de descarga.
(Fuente propia)



Figura 3.23. Válvulas de succión.
(Fuente propia)

3.1.2. Elementos ensamblados

El ensamble de la bomba recíproca de triple embolo se realizó por medio de varias secciones de ensamble hasta obtener la bomba, la misma presentó varios problemas tanto de colocación, ajuste y ensamble. En el cual se pondrá más énfasis en los elementos que presentaron problemas y cuáles fueron las soluciones encontradas para el mismo.

1) Ensamble de bulón en biela y pistón

En el ensamble del sistema pistón y biela se tuvo un problema en la colocación de bulón en el pistón, el cual presentó demasiado ajuste y esto provocó un ovalamiento del pistón de tal forma que se tuvo que volver a rectificar el pistón. Por lo cual en la instalación de los demás elementos se tuvo que optar por un calentamiento del pistón para obtener un ensamble en holgura y evitar este problema. Esto garantiza el funcionamiento de este sistema.

2) Ensamble chaquetas en biela

El montaje de las chaquetas en la biela presentó un problema directamente de ajuste en sus elementos, debido a falta de exactitud en la construcción de las chaquetas la cual se dio debido a la falta de experiencia en la construcción de estos elementos. El inconveniente producido se dio por un remordimiento de las chaquetas en el cigüeñal, el cual fue solucionado por medio de un asentamiento de las chaquetas.

3) Ensamble de cigüeñal en carcasa

El montaje del cigüeñal en la carcasa se dio sin novedad, salvo al momento de realizar la prueba de funcionamiento del sistema, en él se comprobó que las bielas chocaban en el interior de la carcasa. Por tal motivo se tuvo que maquinar el interior de la carcasa y achaflanar las secciones rectas de la biela. Con estas modificaciones realizadas al diseño de la bomba se accionó la misma sin problema.

4) Ensamble de prensa de aceite en separador

El montaje de las prensa estopas en el separador tuvo el problema de desviación de centros, debido a la mala disposición del mecanizado. Por lo cual presentó un roce entre la brida de aluminio y el inyector. La solución al problema fue un

aumento del diámetro interno de la brida y la instalación de un nilón de grafito de mayor diámetro (10 mm).

5) Ensamble de nilón de grafito en prensa estopa de agua

Para el montaje del nilón de grafito en las cámaras de la bomba se tuvo que realizar un proceso en la colocación puesto que el nilón en el mercado nacional no tenía las dimensiones deseadas para el ensamble en la cámara, de tal manera que se optó por adaptar nilón de mayor dimensión, el cual es un elemento principal en el funcionamiento de la bomba. Para la colocación primero se adquirió nylon de 6mm y se acható el mismo por medio de una matriz en la prensa hasta obtener el espesor de 2.5 mm, el paso a seguir fue la colocación del mismo en varias secciones (4 secciones) y el ajuste de la brida de agua.

6) Ensamble de cámaras

En el montaje de las cámaras en el separador se tuvo el percance de la desviación del inyector respecto al centro de la perforación de la cámara, esto provoco que la cámara no ingrese en el separador, puesto que la desviación era mayor a los 5 mm. Por lo cual se optó por el recorrido de las perforaciones de los pernos de sujeción (Ojos chinos), por la soldadura (aluminio) y en la mecanización de las perforaciones con las correcciones pertinentes. En este punto se recomienda colocar una capa de aceite o vaselina en el inyector antes de su instalación para facilitar el primer asentamiento de las prensa estopas en el sistema.

7) Ensamble de válvula de succión y descarga

Para el montaje de las válvulas de succión y las de descarga en los asientos de las cámaras se realizó varios procesos en su instalación, debido a que esta sección necesita más cuidado en su instalación y operación de los elementos.

La primera corrección realizada fue el planear las caras de los asientos de las válvulas de succión y válvulas de descarga, puesto que no estaban alineadas, y estaban desalineadas de 1 a 3 grados por cámara.

La segunda corrección realizada fue la numeración de cada válvula para su instalación, puesto que cada asiento en la cámara presentaba dimensiones diferentes, esto estuvo dado por la mala fundición de la cámara, la cual provocó el sobredimensionamiento en las perforaciones de la salida e ingreso.

8) Ensamble de múltiple de succión y descarga

El montaje de los múltiples presentó varios inconvenientes puesto que esto se fabricó, armado todo el sistema.

El primer inconveniente fue la mala soldadura del múltiple, debido que al poner en funcionamiento la máquina presentó varias fugas, por lo cual se realizó una soldadura oxiacetilénica (suelda amarilla) para garantizar su hermeticidad

El segundo inconveniente fue el choque de los resortes de la válvula de descarga en el tubo de salida, lo cual evitaba el accionamiento de las mismas, por la cual se mecanizo la tubería con un espacio de 3 mm de holgura entre el sello de la válvula y el tubo.

El tercer inconveniente producido es la fuga del fluido a altas presiones mayores a 100 PSI, esto debido al sello producido entre la cara de la válvula y la brida, esto se solucionó realizando empaque de papel victoria en los asientos y con la instalación de los medios con silicona gris de selladura.

Después de corregir los problemas de ensamble de la bomba triplex y de realizar las respectivas pruebas se verificó la correcta instalación de los componentes que constituyen la bomba, de tal manera, garantiza que los elementos mecanizados se encuentran con los ajustes y acabados superficiales dados en los planos de taller, permitiendo obtener un equipo con las características técnicas planteadas en el diseño de la bomba. En la figura 3.24. se muestra el equipo ensamblado completamente.

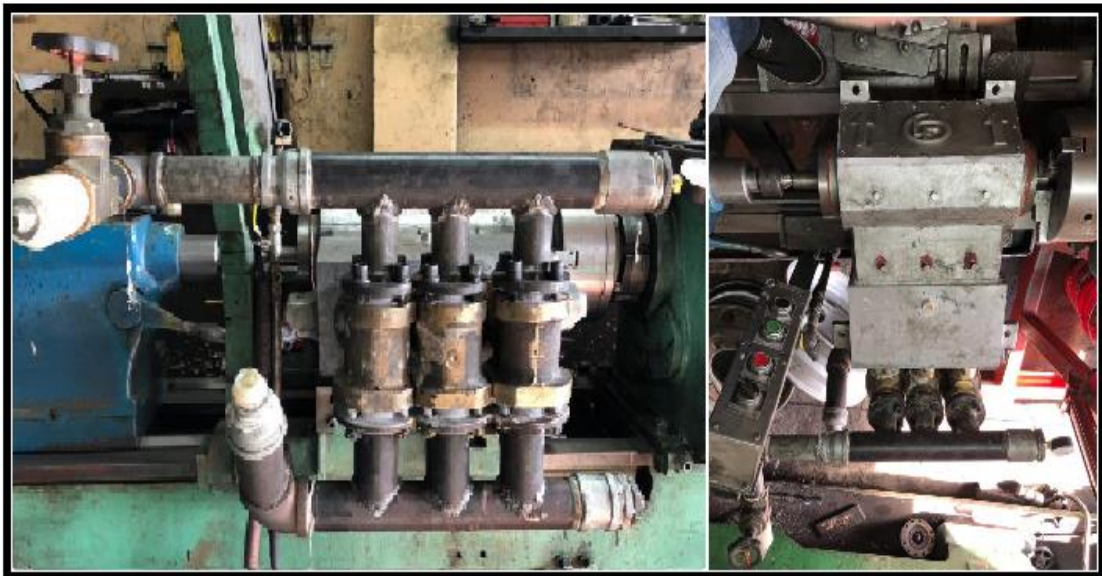


Figura 3.24. Bomba triplex.

(Fuente propia)

3.1.3. Resultado de pruebas

Las pruebas realizadas a la bomba triplex permitieron determinar y encontrar varios problemas de funcionalidad de sus secciones, las cuales fueron solucionadas y permitieron garantizar el accionamiento del equipo de tal manera que en las pruebas de funcionamiento se presentó problemas de posicionamiento, ajustes y acabados superficiales los cuales fueron rectificadas en el proceso de afinamiento de la maquina obteniendo como resultado el funcionamiento requerido de la bomba, con las características y especificaciones técnicas planteadas en el diseño de la misma.

En la prueba de bombeo se pudo determinar, la hermeticidad del sistema, en el cual se tuvo varios problemas tanto de fugas como de hermeticidad de los elementos constituyentes de la bomba los cuales serán descritos a continuación:

Las fugas producidas en el primer accionamiento del sistema se dieron en las cámaras 1 y 2 de la bomba las mismas que presentaban porosidades de gran magnitud en su constitución evitando tener una estanqueidad en el equipo, en la figura 3.25. se muestra las fugas presentadas y en la figure 3.26. se muestra la solución dada, la cual fue la soldadura Tig de las porosidades y la colocación de una silicona (pega tanque 200) que garantice la hermeticidad de su estructura

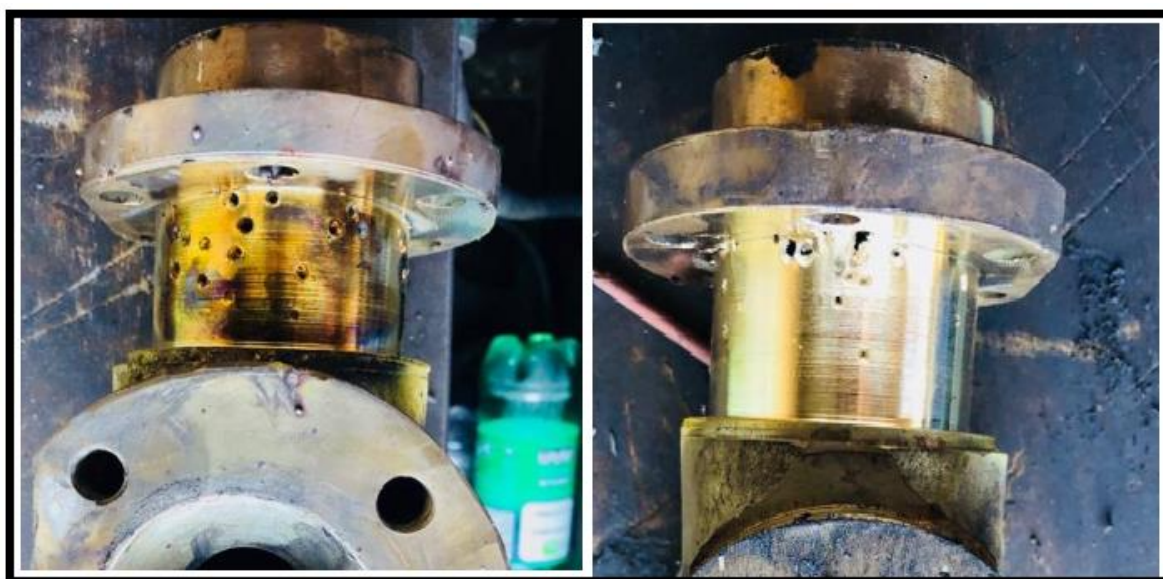


Figura 3.25. Defectos de fundición cámara 1 y 2 (prueba de bombeo).

(Fuente propia)



Figura 3.26. Reparación de defectos de cámaras.

(Fuente propia)

Después de las correcciones mencionadas el sistema, se realizó la prueba de bombeo dando como resultado una presión de bombeo media de 100 PSI como se muestra en la figura 3.27. la salida del fluido a la presión indicada y en la figura 3.28. se muestra la presión dada en el manómetro al realizar la prueba.

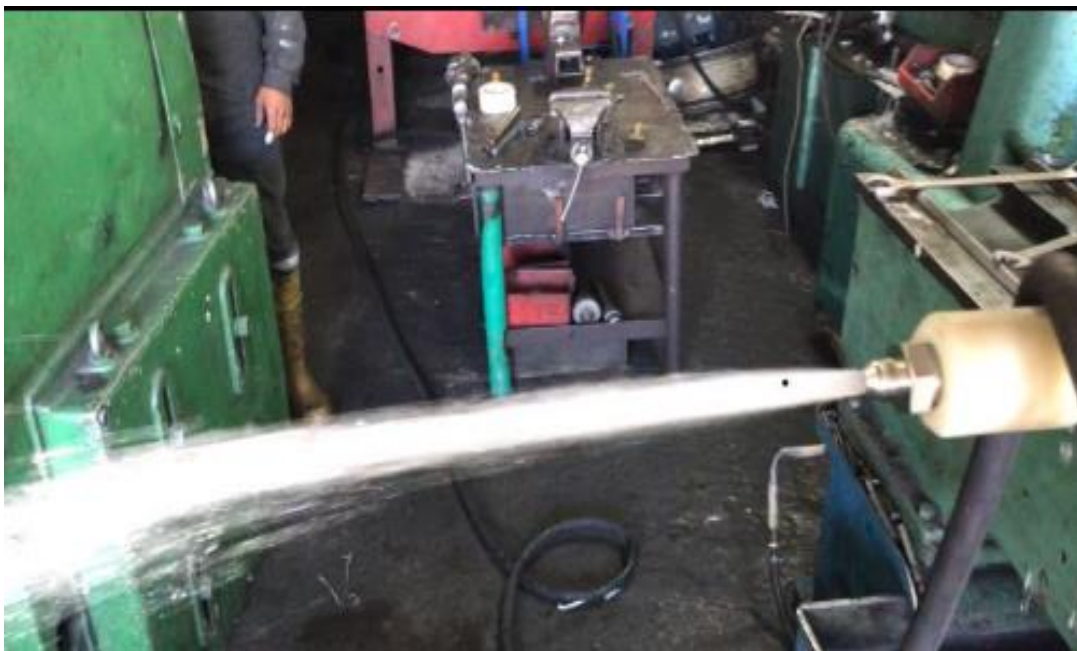


Figura 3.27. Prueba de bombeo

(Fuente propia)



Figura 3.27. Presión de bombeo
(Fuente propia)

Se realizó una prueba de bombeo a una velocidad mayor como se muestra en la tabla 2.26. En la cual, la bomba registró una presión de bombeo de 200 PSI, en la cual el sistema pudo obtener esta presión por un periodo de tiempo de 5 minutos hasta la falla de sus elementos. El elemento que presentó el problema es la cámara donde la misma presenta problemas de porosidades y grietas

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1. Conclusiones

- Se obtuvo una bomba reciprocante de triple émbolo con las disposiciones planteadas en el diseño de la máquina y, con una presión de bombeo máxima de 100 PSI.
- La bomba triplex obtenida aporta el cambio de la matriz productiva del país, ya que posibilita la fabricación de estas máquinas en el mercado nacional con altos estándares de competitividad.
- La capacidad de trabajo de la bomba es de 122 RPM y una presión media de 95 PSI, a velocidades de trabajo más altas la máquina presenta mayor presión de bombeo, pero sus elementos no soportan tales presiones.
- .
- En la construcción de la bomba triplex se comprueba los parámetros técnicos planteados en el diseño tales como: dimensiones, ajustes, acabados superficiales y funcionalidad del equipo, los cuales garantizaron el montaje de los elementos y por ende la funcionalidad del equipo.
- La fundición presente en las cámaras de bronce en aluminio presenta defectos de fundición de tal manera que no se garantiza la funcionalidad del elemento a presiones de bombeo mayores a 100PSI.
- La bomba fabricada puede trabajar a presiones de bombeo mayores utilizando las válvulas óptimas para este equipo, puesto que las válvulas utilizadas para las pruebas son provisionales y no permiten obtener un funcionamiento eficiente de la bomba.
- El mecanizado de los componentes de la bomba reciprocante de triple embolo se lo realizo en máquinas herramientas convencionales, garantizando los ajustes y acabados superficiales deseados.

- El diseño del separador satisface los requerimientos de la bomba, pero este elemento obtenido por medio de la fundición presenta muchos defectos en su estructura. Por lo que no se garantiza la funcionalidad del elemento en altos periodos de trabajo.
- La bomba presenta varias presiones de bombeo en diferentes periodos de tiempo, como se muestra en la tabla 28 indicando que a mayores revoluciones se tiene una presión de bombeo mayor a 200 PSI.
- El uso de útiles de mecanizado permite la obtención de los elementos de una manera más versátil, más rápida y por ende con menores costos de fabricación. Además, que permite obtener elementos de una manera estandarizada.
- El proyecto de titulación permitió desarrollar procesos de manufactura estandarizados para la fabricación de las bombas como se encuentran descritas en las hojas de procesos.
- Este proyecto de titulación sirve de pilar, para la fabricación de estos equipos de bombeo en el país, además que sirve de modelo para el mejoramiento de los problemas suscitados en la obtención de la misma y permite obtener equipos con mejores características técnicas.
- El protocolo de pruebas de los sistemas de la bomba permitió analizar el comportamiento de la bomba a diferentes cargas y periodos de tiempos. Garantizando el funcionamiento de cada elemento que constituye la bomba.

4.2. Recomendaciones

- Es importante que los elementos de la bomba cumplan con los ajustes, tolerancias y acabados superficiales de los planos de taller y montaje, para no tener problemas en su montaje y funcionamiento.
- Se recomienda el cambio de las cámaras de la bomba triplex, puesto que las obtenidas no garantizan el funcionamiento de la máquina, además que se puede rediseñar el elemento con mejores características técnicas y fabricar en aluminio.
- Se recomienda el cambio del separador en la máquina para garantizar su funcionamiento, puesto que la misma presenta muchos defectos y el elemento puede fallar en operación.
- Es impórtate realizar el cambio de las válvulas, debido a que las utilizadas al momento son provisionales y de baja eficiencia por tal motivo se recomienda utilizar el equipo con las válvulas predispuestas para la máquina.
- Se recomienda utilizar en las secciones que necesiten hermeticidad, empaques de papel Victoria y silicona.
- Se recomienda para el montaje del sistema pistón biela utilizar aditamentos de grilón en la instalación para evitar abolladuras en el pistón y posibles ovalamientos.
- Se recomienda previo a las pruebas de funcionamiento de los sistemas realizar una comprobación manual del accionamiento, para evitar rozamientos, choques y por ende posibles fracturas de los elementos.
- Se recomienda colocar vaselina o una capa de aceite fina para el afinamiento de de los sistemas de la bomba triplex.
- Se recomienda verificar que no existan aristas vivas en los elementos mecanizados, para evitar desalineamientos, rayaduras y ajustes excesivos en los elementos a ensamblar.

Referencias Bibliográficas

- Casillas, A. (1997). *Máquinas: Cálculos de taller* (Vol. 36). España: ISBN.
- Flores, A. (2005). *Motores alternativos de combustión interna*. Barcelona: Edicions UPC.
- GlobalSpec, I. (15 de 06 de 2017). *Liquid Handling Pumps Information*. Obtenido de http://www.globalspec.com/learnmore/flow_transfer_control/pumps/pumps_all_types
- Groover, M. P. (2010). *Fundamentals of modern manufacturing*. New York: Wiley.
- Guanuchi, B., & Moposita, S. (2017). *Diseño y construcción de cigüeñal, bielas y tapas de rodamientos en fundición nodular de una bomba triplex embolo*. Quito: EPN.
- McNaughton, K. (2010). *Bombas selección uso y mantenimiento*. Mexico D.F.: McGraw-Hill.
- Millares de Imperial, J., & Villalta E., J. (2000). *Funcionamiento y estructura de un motor*. Barcelona: Ediciones CEAC.
- Riva Romeva, C. (2002). *Diseño Concurrente*. Barcelona: UPC.
- Rodriguez, J., Castro, L., & Real, J. (2006). *Procesos industriales para materiales metálicos*. Madrid: Vision Net.
- Singh, R. (2006). *Introduction to basic manufacturing processes and workshop technology*. New Delhi: New age international.
- Velastegui, T. (2013). *Producción por Virutaje*. Quito: EPN.
- Zubicaray, V., & Alvarez, F. (2003). *Bomba Diseño, teoría y aplicaciones*. Mexico D.F.: Noriega Editores.

ANEXO 1

Tabla de las relaciones entre procesos, acabado superficial y rugosidad

Proceso	Rango de Tolerancias (mm)	Acabado típico de la superficie	Rango de rugosidad (μm)	Tipo de energía utilizada
Fundición: Fundición en molde Fundición en arena	± 0.005 ± 0.050	Bueno Pobre	1-2 12-25	Térmica Térmica
Revestimiento	± 0.020 Al	Bueno	1.5-3	Térmica
Procesos de deformación: Laminación en frío Embutido Extrusión en frío Laminado en caliente		Bueno Bueno Bueno Pobre	1-3 1-3 1-4 12-25	Mecánica Mecánica Mecánica Mecánica
Mecanizado: Torneado Fresado Taladrado Aserrado Cepillado	± 0.030 ± 0.080 ± 0.130	Bueno Bueno Mediano Pobre Mediano	0.5-6 1-6 1.5-6 3-25 1.5-12	Mecánica Mecánica Mecánica Mecánica Mecánica
Mecanizado con abrasivo: Rectificado Pulido Superacabado Abrillantado	± 0.0003 ± 0.0002 ± 0.0002	Muy bueno Excelente Excelente Excelente	0.1-1 0.1-0.5 0.02-0.3 0.005-0.5	Mecánica Efecto mínimo Efecto mínimo Efecto mínimo
Mecanizado no tradicional: Electroerosión Haz de electrones Rayo láser Químico Electroquímico	± 0.001 ± 0.003 ± 0.003 ± 0.003 ± 0.001	Mediano Mediano Mediano Mediano Bueno	1.5-15 1.5-15 1.5-15 1.5-5 0.2-2	Térmica Térmica Térmica Química Eléctrica
Térmicos: Soldadura por arco Corte por plasma Corte oxiacetileno	\pm \pm \pm	Pobre Pobre Muy pobre	5-25 12-25 12-25	Térmica Térmica Térmica
Moldeado de plásticos: Polietileno Poliestireno	± 0.300 ± 0.150			

(Rodríguez, Castro, & Real, 2006)

ANEXO 2

Ajustes recomendados de agujero único y eje único.

Ajustes		AJUSTES RECOMENDADOS				TABLA 9 . 8	
ESPECIFICACION DE LOS ASIENTOS							
Grado del ajuste	Calidades superficiales	SISTEMA				ASIENTO	
		Agujero único		Eje único		Clase	Características
		Agujero	Eje	Eje	Agujero		
PRECISION		H 6	p 5	h 5	P 6	Forzado muy duro	Piezas montadas por dilatación o contracción; no necesitan seguro contra giro.
			n 5		N 6	Forzado duro	Piezas montadas o desmontadas a presión; necesitan seguro contra giro.
			k 5		K 6	Forzado medio	Piezas que han de montarse o desmontarse con gran esfuerzo; seguro para giro y deslizamiento.
	j 5		J 6		Forzado ligero	Montaje y desmontaje sin gran esfuerzo; necesitan seguro contra giro y deslizamiento.	
	h 5		H 6		Deslizante	Piezas lubricadas que se montan y desmontan sin gran trabajo, a mano.	
	g 5		G 6		Giratorio	En piezas lubricadas el giro y deslizamiento puede efectuarse a mano.	
FINO		H 7	s 6	h 6	S 7	Forzado muy duro	Montaje por dilatación o contracción; no necesita seguro contra giro.
			r 6		R 7	Forzado muy duro	Montaje por dilatación o contracción; no necesita seguro contra giro.
			n 6		N 7	Forzado duro	Montado o desmontado a presión; necesita seguro contra giro.
			k 6		K 7	Forzado medio	Montado y desmontado con gran esfuerzo (mediante martillo de plomo); necesita seguro contra giro y deslizamiento.
	j 6		J 7		Forzado ligero	Montado y desmontado sin gran esfuerzo (mediante mazo de madera); necesita seguro contra giro y desplazamiento.	
	h 6		H 7		Deslizante	En piezas lubricadas, deslizamiento a mano.	
	g 6		G 7		Giratorio	En piezas lubricadas, su juego es apreciable.	
	f 7		F 8		Holgado medio	En piezas lubricadas, su juego es más apreciable.	
e 8	E 8	Más holgado	En piezas lubricadas, el juego es muy apreciable.				
ESMERADO		H 8	j 9	h 9	J 8	Forzado ligero	Piezas que se han de montar y desmontar con facilidad.
			h 9		H 8	Deslizante	Piezas que deben montarse sin esfuerzo y que deben desplazarse en su funcionamiento.
			e 9		E 8	Giratorio	Piezas móviles con juego desde perceptible a amplio.
			d 9		D 8	Holgado	Piezas móviles con juego muy amplio.
POCO ESMERADO		H 11	h 11	h 11	H 11	Deslizante	Montaje fácil de gran tolerancia y con pequeño juego.
			d 11		E 11	Giratorio	Piezas móviles con gran tolerancia y juego no excesivo.
	c 11		C 11		Holgado	Piezas móviles con gran tolerancia y juego.	
	a 11		A 11		Muy holgado	Piezas móviles con gran tolerancia y mucho juego.	

(Rodríguez, Castro, & Real, 2006)

ANEXO 3

ANEXO 4

Tabla de velocidades de corte

Material	Util	Angulos corte		Avance s_x en (mm rev)						Avance s_x en mm rev					
		α cc°	γ °	Velocidad de corte v en m/min						Fuerza especifica de corte k_s Sección de tensiones N/mm ²					
				0,1	0,2	0,4	0,8	1,6	3,2	0,1	0,2	0,4	0,8		
Acero sin alear St 34, St 37, St 42	SS	8	14		60	45	34	25	19						
	S ₁	5	10	280	236	200	170	* 67	* 56	3600	2600	1900	1360		
St 50, St 60	SS	8	14		44	32	24	18	14						
	S ₁	5	10	240	205	175	145	* 50	* 42	4100	2950	2150	1540		
St 70	SS	8	14		32	24	18	13	10						
	S ₁	5	10	200	170	132	106	* 34	* 27	4400	3150	2300	1640		
Acero moldeado	SS	8	10		34	25	19	14	11						
	S ₁	5	6	118	100	85	71	* 24	* 20	3600	2600	1900	1360		
Aceros aleados	SS	8	10		24	17	12	8,5	(6)						
	S ₁	5	6	150	118	95	75	* 24	* 20	5000	3600	2600	1850		
Ac. Mn, ac. Cr-Ni Ac. Cr-Mo	SS	8	6		16	11	8	(5,6)							
	S ₁	5	6	95	75	60	50	* 16	* 13	5300	3800	2750	2000		
y otros aceros aleados	SS	8	6		9,5	6									
	S ₁	5	6	60	48	38	32	* 10	* 8	5700	4100	3000	2150		
Ac. de herramientas	SS	8	6												
	S ₁	5	6	50	40	32	27	* 8,5	* 6,7	5700	4100	3000	2150		
Ac. duro al Mn	SS														
	S ₁	5	6	40	32	25	20	* 6,7	* 5,3	6600	4800	3500	2520		
Hierro fundido GG-10, GG-15	SS	8	0		48	27	18	14	9,5						
	G ₁	5	0	140	118	95	80	67		1900	1360	1000	720		
GG-20, GG-25	SS	8	0		32	18	13	9,5	6,3						
	H ₁	5	0	106	90	75	63	53		2900	2080	1500	1080		
Fund. maleable	SS	8	10		43	28	20	13	9						
	S ₁	5	10	106	90	75	63	53		2400	1750	1250	920		
Aleaciones de Cu latón	SS	8	0		125	85	56	36							
	G ₁	5	6	600	530	450	400	355		1600	1150	850	600		
Latón rojo	SS	8	0		85	63	48	34	24						
	G ₁	5	6	500	450	375	335	300		1400	1000	700	520		
Fund. de bronce	SS	8	0		63	53	43	36	28						
	G ₁	5	6	355	280	236	200	180		3400	2450	1800	1280		
Metales ligeros Aluminio técnico	SS	12	30		400	300	200	118	75						
	G ₁	12	30	1320	1120	950	850	710		1050	760	550	400		
Aleaciones de Al (11...13% Si)	SS	12	18		100	67	45	30							
	G ₁	12	18	224	190	160	140	118		1400	1000	700	520		
Aleac. para émbolos GAl-Si (11...13% Si)	SS	12	14												
	G ₁	12	14	25	22	20	18	17		1250	900	650	480		
Aleaciones de magnesio	SS	8	6		1000	900	800	750	710						
	G ₁	5	6	1800	1500	1250	1060	900		580	420	300	220		
Mat. sintét. y prens. Goma dura	SS	12	10												
	G ₁	12	10	300	280	250	224	200		480	350	250	180		
Masa prens. baquelita Novotext, Pertinax	SS	12	14												
	G ₁	12	14	280	212	170	132	100		480	350	250	180		

(Casillas, 1997)

ANEXO 5

ANEXO 6