

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO DE BOMBA DE
DESPLAZAMIENTO POSITIVO PARA APLICACIONES DE PRUEBAS
HIDROSTÁTICAS EN TUBERÍAS PETROLERAS BASADOS EN LAS NORMAS
ASME B31.4 Y API RP1110.**

DIEGO FERNANDO GONZÁLEZ SANTANDER

EDWARD ANDRÉS VILLAMIL NOVOA

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISICOMECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
BUCARAMANGA**

2012

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO DE BOMBA DE
DESPLAZAMIENTO POSITIVO PARA APLICACIONES DE PRUEBAS
HIDROSTÁTICAS EN TUBERÍAS PETROLERAS BASADOS EN LAS NORMAS
ASME B31.4 Y API RP1110.**

**DIEGO FERNANDO GONZÁLEZ SANTANDER
EDWARD ANDRÉS VILLAMIL NOVOA**

**Trabajo de Grado para optar al título de
Ingeniero Mecánico**

**Director
CARLOS BORRAS PINILLA
Ingeniero Mecánico**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISICOMECAÓNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
BUCARAMANGA**

2012

DEDICATORIA

*Al ser responsable de mi vida; mi DIOS.
A la mujer que mas amo en la vida y que me ha apoyado
en los momentos que he creído no poder superar; mi MADRE.
Al personaje que en su silencio siempre ha confiado
en mi carácter y responsabilidad para lograr
lo que siempre me propongo; mi PADRE.
A las personas con las que he crecido en mi hogar
y que han sido cómplices en mucho momentos de
mi vida; mis HERMANOS.*

DIEGO

*Agradezco a mi SEÑOR y DIOS por enseñarme que todo en la vida presenta
dificultades y por darme la fortaleza de seguir adelante llenándome con sus
bendiciones para superar todos los obstáculos con el fin de formarme como un
profesional integro que no desfallece ante las dificultades.
A NUBIA mi madre por ser el apoyo mas grande de mi vida que con su ternura y
amor fue mi principal inspiración para salir adelante y convertirme en el hombre
que soy hoy en día, dándome los mejores consejos para no cometer errores y
enviándole sus oraciones a Dios para que me llevara por el buen camino.
A mi hermano FABIO por darme siempre el mejor ejemplo de superación, a mi
hermano DANILO por que siempre me inspiro a ser una gran persona para darle el
mejor ejemplo finalmente agradezco a los dos por darme su total apoyo y ánimos
para seguir siempre adelante.
A ELISA mi tía por brindarme su incondicional apoyo y comprensión en la
consecución de este logro.
A LUIS mi padre por brindarme su apoyo y sus mejores consejos.*

EDWARD

AGRADECIMIENTOS

Queremos agradecer toda la ayuda que el Ingeniero y Maestro ALFREDO PARADA CORRALES nos ha brindado en el transcurso del desarrollo de este proyecto, pues en cada ocasión en que solicitamos aclarar algún concepto sobre el diseño de elementos mecánicos nos acogió sin reproche alguno, quien sugirió soportar parte del diseño con ensayos mecánicos para validar con total seguridad algunos elementos del diseño planteado. Recordamos igualmente lo valioso que resultó cada charla en la que nos permitía reflexionar sobre nuestra formación como personas y futuros Ingenieros Mecánicos.

Expresarle nuestra gratitud a la Sub-Directora CLAUDIA CELINA MARÍN ARIZA del Centro Industrial de Mantenimiento Integral (CIMI) del SENA por la mejor disposición, el tiempo y el apoyo prestado para la etapa concerniente a la manufactura del proyecto. Igualmente por la formación técnica y conocimientos otorgados por parte de los Instructores, RICARDO PABÓN y ANGÉLICA PATRICIA LAITON; fundamentales para la programación y puesta a punto de las Máquinas Herramientas CNC utilizadas para la construcción de los elementos que integran el prototipo de bomba diseñada, y al aprendiz LEYVER SÁNCHEZ en el acompañamiento durante el proceso de conocer el funcionamiento de las Máquinas Herramientas CNC.

Resaltar el apoyo del Especialista Químico FABIO VILLAMIL, vinculado al Instituto Colombiano del Petróleo ICP, por la donación de los elementos restantes para finalmente llevar a cabo la construcción total del banco de pruebas.

Reconocemos la participación del Ingeniero Mecánico y amigo GABRIEL HUMBERTO CASTIBLANCO, por su paciencia y apoyo en el entendimiento de la bibliografía que nos a permitido soportar el proyecto, como un dispositivo capaz de llevar a cabo procesos que se rigen bajo normas internacionales.

A la escuela de Ingeniería Mecánica y al grupo de investigación DICBOT por su apoyo económico para el desarrollo del banco de pruebas.

Para finalizar a cada una de las personas, amigos y compañeros que nos dieron su apoyo de una u otra forma durante el desarrollo de este proyecto.

**DIEGO FERNANDO GONZÁLEZ SANTANDER
EDWARD ANDRÉS VILLAMIL NOVOA**

RESUMEN

TÍTULO:

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO DE BOMBA DE DESPLAZAMIENTO POSITIVO PARA APLICACIONES DE PRUEBAS HIDROSTÁTICAS EN TUBERÍAS PETROLERAS BASADOS EN LAS NORMAS ASME B31.4 Y API RP1110.*

AUTORES:

Diego Fernando González Santander
Edward Andrés Villamil Novoa**

PALABRAS CLAVES:

Bombas de desplazamiento positivo, Pruebas de integridad, Norma API RP1110, Pulsos de presión, Banco de pruebas, Máquinas herramientas CNC, Norma API 5L.

DESCRIPCIÓN:

El presente proyecto tiene como objetivo mejorar la calidad de las bombas manuales de desplazamiento positivo con las que cuenta la escuela de Ingeniería Mecánica, contemplando la posibilidad de ofrecer un servicio de extensión e investigación para llevar a cabo pruebas de integridad en tubería petrolera bajo la norma API RP1110.

La escuela de ingeniería mecánica cuenta con dos bombas manuales de desplazamiento positivo que permiten alcanzar como máximo 5000 psi, sin embargo su estructura es rústica y su funcionamiento se basa en la entrega de pequeñas cantidades de fluido que causan pulsos de presión con cada paquete de volumen suministrado, por tal razón después del estudio de varias alternativas se realiza el diseño y construcción de un dispositivo capaz de alcanzar presiones de 10000 psi, eliminando los pulsos de presión característicos de estos tipos de bombas; obteniéndose un equipo innovador y de alta precisión con rangos de presión de operación que permiten abarcar las aplicaciones de pruebas hidrostáticas en tubería petrolera.

El proceso de construcción de este dispositivo se llevo a cabo con el apoyo del Servicio Nacional de Aprendizaje SENA en máquinas herramientas CNC, logrando alcanzar un alto grado de precisión y acabados finos que garantizan el funcionamiento correcto, confiable y seguro del equipo.

Se estructuró un banco de pruebas con los elementos mínimos necesarios para evaluar la integridad de tuberías de transporte de hidrocarburos diseñadas bajo norma API 5L, con la capacidad de ser trasladado a dependencias distintas de los laboratorios de la escuela de Ingeniería Mecánica, y con la facilidad de ser adaptado a otros procesos que requieran su servicio, como se evidencia en una prueba hidrostática realizada a un dispositivo autoclave, en las instalaciones de la Corporación para la Investigación de la Corrosión (CIC).

* Proyecto de Grado

** Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas, Escuela de Ingeniería Mecánica, Director Ing. Carlos Borrás Pinilla.

ABSTRACT

TÍTULO:

DESIGN AND CONSTRUCTION OF A PROTOTYPE POSITIVE DISPLACEMENT PUMP FOR TEST HYDROSTATIC BASED OIL PIPELINES ASME B31.4 AND API RP1110.*

AUTHORS:

Diego Fernando González Santander
Edward Andrés Villamil Novoa**

KEYWORDS:

Positive displacement pumps, integrity tests, API Standard RP1110, Pulse pressure, test bench, CNC machine tools, API 5L standard.

DESCRIPTION:

This project aims to improve the quality of positive displacement manual pumps available in the Mechanical Engineering School, considering the possibility of offering an extension service and research to conduct integrity tests on oil pipeline under the standard API RP1110.

The Mechanical Engineering School has two positive displacement hand pumps that achieve a maximum of 5000 psi, however, its structure is rustic and its operation is based on the supply of small quantities of fluid that cause pressure pulses with each pack delivered volume, for this reason after of several studies of many alternatives it's performed the design and construction of a device capable of reaching pressures of 10.000 psi, eliminating the pressure pulses characteristic of these types of manual pumps, obtaining an innovative equipment and high precision with operating pressure ranges that allow the applications of hydrostatic testing in oil pipeline.

The process of building this device was carried out with support from the National Service for Training SENA in CNC machine tools, achieving a high degree of precision and fine finishes that ensure smooth operation, reliable and safe equipment.

It was structured a test bench with the minimum elements necessary to assess the integrity of pipelines transporting hydrocarbons designed under standard API 5L. With the ability to be transferred to different departments and laboratories of the Mechanical Engineering School and the ease of being adapted to other processes that require their service, as evidenced in a hydrostatic test on a device named "autoclave", in the facilities of the Research Corporation for Corrosion CIC.

* Graduation Project

** Physical-Mechanical Engineering Faculty, Mechanical Engineering School, Director: Eng Carlos Borrás Pinilla.

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	25
1.DESCRIPCIÓN GENERAL DEL BANCO DE PRUEBAS DE ALTA PRESIÓN PARA REALIZAR PRUEBAS HIDROSTÁTICAS EN TUBERÍAS QUE TRANSPORTAN HIDROCARBUROS	26
1.1. SISTEMA DE LLENADO DE LA TUBERÍA:	27
1.2. SISTEMA DE PRESURIZACIÓN DE LA TUBERÍA:	31
1.3. ESQUEMA HIDRÁULICO DEL BANCO DE PRUEBAS	36
1.4. OBJETIVOS DEL TRABAJO DE GRADO	37
1.4.1. Objetivos Generales	37
1.4.2. Objetivos Específicos	38
2.PROCESO DE DISEÑO CONCEPTUAL PARA EL PROTOTIPO DE BOMBA MANUAL DE DESPLAZAMIENTO POSITIVO	40
2.1. NECESIDADES DEL LABORATORIO DICBOT DE INGENIERÍA MECÁNICA	40
2.2. PARÁMETROS DE DISEÑO	42
2.3. ALTERNATIVAS ENTRE LA COMPRA DE UNA BOMBA MANUAL DE ALTA PRESIÓN Vs EL DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO DE BOMBA MANUAL PARA ALTAS PRESIONES.	43
2.3.1. Primer alternativa:	43
2.3.2. Segunda alternativa:	45
2.3.3. Tercera alternativa:	46
2.3.4. Cuarta alternativa:	47
2.4. ANÁLISIS QFD DE LA BOMBA PROTOTIPO	51
2.5. EVALUACIÓN DE ALTERNATIVAS	55
2.6. DESCRIPCIÓN DEL PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO DEL PROTOTIPO A DESARROLLAR.	55
3. PROCESO DE DISEÑO DE DETALLE	58

3.1.	SELECCIÓN DEL SELLO HIDRÁULICO	58
3.1.1.	Alternativa 1 sello Parker	58
3.1.2.	Alternativa 2 sello Hercules	60
3.1.3.	Selección de alternativa	62
3.1.4.	Selección de las guías de desgaste	63
3.2.	DISEÑO DEL MECANISMO DE TRANSMISIÓN DE POTENCIA	65
3.2.1.	Diseño del tornillo de potencia ACME	66
3.2.2.	Diseño de la tuerca.	91
3.3.	DISEÑO DEL VÁSTAGO DE LA BOMBA.	104
3.3.1.	Análisis del Vástago como columna.	104
3.3.2.	Diseño asistido por computadora para el Vástago.	107
3.4.	DISEÑO DEL PISTÓN.	110
3.5.	DISEÑO DE LA CAMISA DE DESGASTE.	117
3.6.	DISEÑO DE LA CÁMARA DE BOMBEO	119
3.6.1.	Análisis de esfuerzos en cilindros de pared delgada	119
3.6.2.	Análisis bajo norma ASME para calderas y recipientes sometidos a presión; sección VIII, división 1	120
3.6.3.	Diseño asistido por computadora para la Cámara de Bombeo	121
3.7.	DISEÑO DE LA CAMISA GUÍA	123
3.8.	DISEÑO DE LA TAPA DE LA BOMBA	127
3.9.	DISEÑO DEL CONTADOR	128
3.10.	DISEÑO DEL CONJUNTO TRANSMISOR DEL TORQUE	130
3.10.1.	Diseño del volante	130
3.10.2.	Diseño de las Palancas para Torque	132
3.11.	DISEÑO DE LAS BASES DE LA BOMBA	133
3.11.1.	Diseño de la Base Frontal	133
3.11.2.	Diseño de la Base Antigiro	134
3.11.3.	Diseño de la Base Posterior	134
3.11.4.	Diseño de la Base de Apoyo Inferior	135
3.12.	DISEÑO DE SEPARADORES	136

3.12.1.	Diseño del Separador Camisas	136
3.12.2.	Diseño del separador Rodamiento-Tuerca	136
3.13.	DISEÑO DE SUJETADORES Y EJES PARA CUÑEROS	137
3.13.1.	Diseño del Pasador Tuerca-Camisa de Desgaste	137
3.13.2.	Diseño del Pasador Antigiro	138
3.13.3.	Diseño de la Cuña Tornillo-Volante	139
3.13.4.	Diseño de la cuña de la Camisa de Desgaste	139
3.14.	SELECCIÓN DE RODAMIENTOS	140
3.14.1.	Selección del Rodamiento Axial	140
3.14.2.	Selección del Rodamiento de Contacto Angular	142
3.15.	ELEMENTOS QUE CONSTITUYEN EL DISEÑO DEL PROTOTIPO DE BOMBA DE DESPLAZAMIENTO POSITIVO	144
4.ADECUACIÓN DEL BANCO PARA PRUEBAS DE INTEGRIDAD EN TUBERÍA DE TRANSPORTE DE HIDROCARBUROS		147
4.1.	DISEÑO Y SELECCIÓN DE ACCESORIOS PARA EL SIESTEMA DE PRESURIZACIÓN	147
4.1.1.	Diseño del tanque de almacenamiento para la bomba de desplazamiento positivo.	147
4.1.2.	Diseño del Manifold	148
4.1.3.	Selección de accesorios	150
4.2.	DISEÑO Y SELECCIÓN DE ACCESORIOS PARA EL SISTEMA DE LLENADO	158
4.2.2.	Selección de accesorios	159
4.3.	DISEÑO DE LA ESTRUCTURA DEL BANCO DE PRUEBAS	170
5.VALIDACIÓN DEL DISEÑO DE LA BOMBA DE DESPLAZAMIENTO POSITIVO MEDIANTE EL ANÁLISIS DE INGENIERÍA ASISTIDA POR COMPUTADORA (CAE)		172
5.1.	ANÁLISIS CAE PARA DEL PISTÓN.	172
5.2.	ANÁLISIS CAE PARA EL VÁSTAGO.	173
5.3.	ANÁLISIS CAE PARA LA TUERCA.	174

5.4.	ANÁLISIS CAE PARA EL TORNILLO DE POTENCIA.	175
5.5.	ANÁLISIS CAE DE LA CAMISA DE DESGASTE.	177
5.6.	ANÁLISIS CAE DEL PASADOR TUERCA-CAMISA DE DESGASTE	178
5.7.	ANÁLISIS CAE DE LA CUÑA DE LA CAMISA DE DESGASTE.	180
5.8.	ANÁLISIS CAE DE LA CÁMARA DE BOMBEO.	180
5.9.	ANÁLISIS CAE DE LA CAMISA GUÍA.	182
5.10.	ANÁLISIS CAE DE LA TAPA DE LA BOMBA	183
5.11.	ANÁLISIS CAE DEL SEPARADOR RODAMIENTO-TUERCA Y DEL SEPARADOR CAMISAS.	184
5.12.	ANÁLISIS CAE DEL VOLANTE.	185
5.13.	ANÁLISIS CAE DE LA PALANCA PARA TORQUE.	186
5.14.	ANÁLISIS CAE PARA LA CUÑA TORNILLO-VOLANTE.	187
5.15.	ANÁLISIS CAE PARA LAS BASES DE LA BOMBA.	188
5.16.	ANÁLISIS CAE PARA EL PASADOR ANTIGIRO.	188
5.17.	CONCLUSIÓN DEL ANÁLISIS CAE PARA LOS ELEMENTOS QUE CONFORMAN LA BOMBA DE DESPLAZAMIENTO POSITIVO	189
6.MANUFACTURA Y PRUEBAS DEL PROTOTIPO DE BOMBA MANUAL DE DESPLAZAMIENTO POSITIVO		191
6.1.	MÁQUINAS HERRAMIENTAS CNC UTILIZADAS	191
6.1.1.	Torno CNC de bancada plana “SHENYANG MACHINE TOOL CO., LTD. Serie CAK 5085 di”	191
6.1.2.	Torno CNC de bancada plana “HNC serie CK6032/70”	193
6.1.3.	Torno CNC de bancada inclinada “DOOSAN LYNX 220 LM”	194
6.1.4.	Fresadora CNC “HNC CNC Milling Machine XK7132”	195
6.2.	OPERACIONES DE MECANIZADO	196
6.3.	HERRAMIENTAS DE CORTE DISPONIBLES EN EL LABORATORIO DE CNC DEL SENA	204
6.3.1.	Herramientas utilizadas para las operaciones de desbaste	204
6.3.2.	Herramientas utilizadas para operaciones de acabado	205

6.3.3.	Herramientas utilizadas para el desbaste y acabado en operaciones de alesado	205
6.3.4.	Herramientas utilizadas para el proceso de roscado	208
6.3.5.	Herramientas utilizadas para procesos de ranurado	209
6.3.6.	Herramientas utilizadas para procesos de tronzado.	210
6.3.7.	Herramientas utilizadas para procesos de taladrado	210
6.3.8.	Herramientas utilizadas para procesos de fresado	212
6.4.	SELECCIÓN DE HERRAMIENTAS DE CORTE	213
6.4.1.	Selección de insertos para rosca métrica	213
6.4.2.	Selección del inserto para roscado exterior tipo ACME	214
6.4.3.	Selección del inserto y porta plaquitas para roscado interior tipo ACME	215
6.4.4.	Selección del inserto para el proceso de tronzado	217
6.5.	DISEÑO Y ADECUACIÓN DE ALGUNOS SISTEMAS DE SUJECCIÓN	218
6.6.	PROCESOS DE MECANIZADO	221
6.6.1.	Pistón Tapa	221
6.6.2.	Pistón	227
6.6.3.	Vástago	232
6.6.4.	Tuerca	237
6.6.5.	Tornillo de Potencia	242
6.6.6.	Camisa de Desgaste	246
6.6.7.	Separador Camisas	250
6.6.8.	Separador Rodamiento – Tuerca	254
6.6.9.	Volante	258
6.6.10.	Cámara de Bombeo	263
6.6.11.	Camisa Guía	271
6.6.14.	Bases	284
6.6.15.	Pines – palancas	287
6.6.16.	Manifold	289

6.7.	PRUEBA DE ESTANQUEIDAD DEL PROTOTIPO DE BOMBA MANUAL DE DESPLAZAMIENTO POSITIVO A LA MÁXIMA PRESIÓN DE DISEÑO 10000 psi	292
7.MONTAJE, OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DEL PROTOTIPO DE BOMBA MANUAL DE DESPLAZAMIENTO POSITIVO		297
7.1.	ENSAMBLE DE LOS ELEMENTOS DEL PROTOTIPO DE BOMBA DE DESPLAZAMIENTO POSITIVO	297
7.1.2.	Ensamble Cámara de bombeo – Racores	298
7.1.3.	Ensamble Cámara de Bombeo – conjunto Pistón	299
7.1.4.	Ensamble del conjunto de transmisión de potencia	300
7.1.5.	Ensamble conjunto antigiro	301
7.1.6.	Ensamble conjunto antigiro – conjunto Cámara de Bombeo	302
7.1.7.	Ensamble de Línea	303
7.1.8.	Ensamblaje de Línea 2	304
7.1.9.	Ensamble conjunto Torque	305
7.1.10.	Ensamble FINAL	306
7.2.	OPERACIÓN DEL PROTOTIPO DE BOMBA DE DESPLAZAMIENTO POSITIVO EN EL BANCO DE PRUEBAS DE INTEGRIDAD EN TUBERÍA	307
7.2.1.	Preparación de la bomba prototipo para un banco de pruebas	307
7.2.2.	Operación del prototipo de bomba de desplazamiento positivo en el banco de pruebas de integridad en tubería	309
7.3.	MANTENIMIENTO DEL PROTOTIPO DE BOMBA	312
7.3.1.	Lubricación	312
7.3.2.	Cambio de Sellos y guías de desgaste	316
7.3.3.	Ensamble de accesorios let-lok	317
8. APLICACIÓN DEL PROTOTIPO DE BOMBA MANUAL DE DESPLAZAMIENTO POSITIVO EN UN BANCO DE PRUEBAS DE INTEGRIDAD EN TUBERÍA PARA EL TRANSPORTE DE HIDROCARBUROS, TOMANDO COMO REFERENCIA LA NORMA API RP1110		319

8.1.	PARÁMETROS PARA LA PRUEBA DE INTEGRIDAD EN TUBERÍA SUGERIDOS BAJO LA NORMA API RP1110	320
8.1.1.	Categorías de defectos y amenazas	320
8.1.2.	Seguridad	321
8.1.3.	Condiciones de operación de la tubería	322
8.2.	CLASES DE PRUEBAS HIDROSTÁTICAS	323
8.2.1.	Prueba de picadura	323
8.2.2.	Pruebas de esfuerzo	324
8.2.3.	Prueba de fugas	324
8.3.	PLANEACIÓN DE LA PRUEBA HIDROSTÁTICA	324
8.4.	EJECUCIÓN DE LA PRUEBA HIDROSTÁTICA	326
8.4.1.	Programación de la “Prueba de Fugas”	327
8.4.3.	Análisis de resultados	334
9.	PRESUPUESTO	336
10.	RECOMENDACIONES	341
11.	CONCLUSIONES	343
	BIBLIOGRAFÍA	346

LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1. Banco de pruebas para pruebas de integridad en tubería	26
Figura 2. Tanque de almacenamiento del sistema de llenado	27
Figura 3. Filtro de la línea de succión de la bomba de llenado	28
Figura 4. Línea de succión de la bomba de llenado	28
Figura 5. Bomba de llenado	29
Figura 6. Línea de descarga inicial	30
Figura 7. Línea de descarga a la sección de prueba	31
Figura 8. Tanque de almacenamiento del sistema de presurización	32
Figura 9. Línea de succión del sistema de presurización	33
Figura 10. Prototipo de bomba de desplazamiento positivo	33
Figura 11. Línea de descarga del sistema de alta presión	34
Figura 12. Manifold	35
Figura 13. Conexión a la sección de prueba	36
Figura 14. Esquema Hidráulico del Banco de Pruebas.	37
Figura 15. Organización de requerimientos del consumidor	41
Figura 16. Bomba para pruebas hidrostáticas (5000 psi)	44
Figura 17. Bomba para pruebas hidrostáticas (3000 psi)	45
Figura 18. Bomba para pruebas hidrostáticas. FAMEXVAL	46
Figura 19. Bomba manual MP 50. VINCI TECHNOLOGIES	47
Figura 20. Primer diseño de una bomba motorizada.	48
Figura 21. Bomba Prototipo para 10000 psi	49
Figura 22. Corte lateral de la Bomba prototipo	49
Figura 23. Diagrama QFD	54
Figura 24. Planteamiento inicial Sistema de Transmisión	56
Figura 25. Planteamiento inicial Elemento Presurizador	56
Figura 26. Planteamiento inicial cuerpo de la bomba	57

Figura 27. Sello Parker	59
Figura 28. Sección transversal sello Parker	59
Figura 29. Dimensiones sello modelo TP Parker	60
Figura 30. Sello Hercules	61
Figura 31. Capacidad de operación sello Hercules	61
Figura 32. Referencia sello Hercules	62
Figura 33. Sello Hercules	63
Figura 34. Guía flexible de desgaste	64
Figura 35. Guía fija de desgaste	65
Figura 36. Dimensiones rosca ACME	66
Figura 37. Diagrama de cuerpo libre Tornillo de Potencia	67
Figura 38. Condiciones de columna del tornillo	72
Figura 39. Condiciones de apoyo para Columnas	72
Figura 40. Carga axial sobre el tornillo	77
Figura 41. Torque ejercido sobre el Tornillo de Potencia	78
Figura 42. Análisis de falla por torsión	78
Figura 43. Carga sobre el Tornillo de Potencia actuando como Columna	79
Figura 44. Fuerzas que actúan sobre el diente del Tornillo	81
Figura 45. Diagrama de cuerpo libre diente del Tornillo	82
Figura 46. Diagrama de Fuerza cortante	83
Figura 47. Diagrama de Momento flector	83
Figura 48. Curva Esfuerzo Vs Distancia	85
Figura 49. Carga Combinada	85
Figura 50. Dimensiones Probeta	86
Figura 51. Probeta 4140 Tratada	87
Figura 52. Máquina "MTS 810 Material Test System" para ensayos de tracción	88
Figura 53. Gráfica Fuerza Vs Deformación de Axial	89
Figura 54. Primer Diseño del Tornillo de Potencia	90
Figura 55. Diseño final del Tornillo de Potencia	91
Figura 56. Probeta Normalizada	94

Figura 57. Fractura de la Probeta de Latón	95
Figura 58. Curva fuerza Vs Deformación del Latón	96
Figura 59. Límite de fluencia Latón	97
Figura 60. Primer planteamiento Tuerca	98
Figura 61. Segundo planteamiento Tuerca	98
Figura 62. Tercer planteamiento Tuerca	99
Figura 63. Cuarto planteamiento Tuerca	99
Figura 64. Quinto planteamiento Tuerca	100
Figura 65. Sexto planteamiento Tuerca	100
Figura 66. Séptimo planteamiento Tuerca	101
Figura 67. Octavo planteamiento Tuerca	102
Figura 68. Planteamiento final Tuerca	103
Figura 69. Perfil Tuerca	103
Figura 70. Primer planteamiento Vástago	107
Figura 71. Segundo planteamiento Vástago	108
Figura 72. Tercer planteamiento Vástago	108
Figura 73. Cuarto planteamiento Vástago	109
Figura 74. Quinto planteamiento Vástago	109
Figura 75. Sexto planteamiento Vástago	110
Figura 76. Planteamiento final Vástago	110
Figura 77. Primer planteamiento Pistón Tapa	111
Figura 78. Segundo planteamiento Pistón Tapa	112
Figura 79. Tercer planteamiento Pistón Tapa	113
Figura 80. Cuarto planteamiento Pistón Tapa	113
Figura 81. Quinto planteamiento Pistón Tapa	114
Figura 82. Sexto planteamiento Pistón Tapa	115
Figura 83. Séptimo planteamiento Pistón Tapa	115
Figura 84. Planteamiento Final Pistón Tapa	116
Figura 85. Perfil Pistón Tapa	116
Figura 86. Primer planteamiento Camisa de Desgaste	117

Figura 87. Planteamiento final Camisa de Desgaste	118
Figura 88. Perfil Camisa de Desgaste	118
Figura 89. Primer Planteamiento Cámara de Bombeo	121
Figura 90. Segundo Planteamiento Cámara de Bombeo	122
Figura 91. Planteamiento final Cámara de Bombeo	123
Figura 92. Primer planteamiento Camisa Guía	123
Figura 93. Prueba de agarre con Caucho	124
Figura 94. Segundo planteamiento Camisa Guía	125
Figura 95. Tercer planteamiento Camisa Guía	125
Figura 96. Planteamiento final Camisa Guía	126
Figura 97. Perfil Camisa Guía	127
Figura 98. Primer planteamiento de la Tapa de la Bomba	127
Figura 99. Planteamiento Final de la Tapa de la Bomba	128
Figura 100. Primer planteamiento contador	129
Figura 101. Planteamiento final contador	129
Figura 102. Conjunto transmisor del torque	130
Figura 103. Primer planteamiento Volante	131
Figura 104. Planteamiento final Volante	132
Figura 105. Palancas para Torque	132
Figura 106. Base Frontal	133
Figura 107. Base Antigiro	134
Figura 108. Base Posterior	135
Figura 109. Base de apoyo Inferior	135
Figura 110. Separador Camisas	136
Figura 111. Separador Rodamiento - Tuerca	137
Figura 112. Pasador Tuerca-Camisa de Desgaste	138
Figura 113. Pasador Antigiro	138
Figura 114. Cuña Tornillo-Volante	139
Figura 115. Cuña de la Camisa de Desgaste	139
Figura 116. Rodamiento Axial	140

Figura 117. Selección Rodamiento Axial	141
Figura 118. Rodamiento de Contacto Angular	142
Figura 119. Selección Rodamiento de Contacto Angular	144
Figura 120. Elementos que conforman el prototipo de Bomba de Desplazamiento Positivo	145
Figura 121. Elementos que conforman el Prototipo de Bomba de Desplazamiento Positivo	145
Figura 122. Tanque de almacenamiento en acrílico para el sistema de alta presión	148
Figura 123. Primer planteamiento Manifold	149
Figura 124. Planteamiento final Manifold	150
Figura 125. Selección Tubing 1/4 in - 1/8 in	151
Figura 126. Selección conector macho	152
Figura 127. Selección de codos de unión	153
Figura 128. Selección de codo macho	154
Figura 129. Selección de unión en Tee	155
Figura 130. Selección de las válvulas check	156
Figura 131. Válvula de aguja AUTOCLAVE ENGINEERS	157
Figura 132. Selección de válvula RELIEF	157
Figura 133. Tanque de almacenamiento sistema de llenado	159
Figura 134. Selección de tuberías de 1 in y 1/2 in PVC	160
Figura 135. Selección de codos 90 PVC	160
Figura 136. Selección de adaptadores macho PVC	161
Figura 137. Selección de válvula de pie PVC	162
Figura 138. Selección de unión universal PVC	162
Figura 139. Selección de válvula universal PVC	163
Figura 140. Selección de adaptador hembra roscado PVC	163
Figura 141. Selección de mangueras flexibles de alta presión	164
Figura 142. Selección de conectores rectos para manguera	165
Figura 143. Selección conexión hembra giratoria JIC con espiga	166

Figura 144. Selección de conector recto en acero inoxidable 316L	167
Figura 145. Selección de conector hembra	167
Figura 146. Selección del conector niple NPT inoxidable	168
Figura 147. Selección de la cupla NPT inox	168
Figura 148. Selección Válvula de aguja de 1/2 in	169
Figura 149. Planteamiento inicial estructura banco de pruebas	170
Figura 150. Planteamiento final Estructura banco de pruebas	171
Figura 151. Simulación CAE conjunto Pistón inicial	172
Figura 152. Simulación CAE conjunto Pistón final	173
Figura 153. Simulación CAE Vástago inicial	173
Figura 154. Simulación CAE Vástago final	174
Figura 155. Simulación CAE Tuerca inicial	174
Figura 156. Simulación CAE Tuerca final	175
Figura 157. Simulación CAE Tornillo de Potencia inicial	176
Figura 158. Simulación CAE Tornillo de Potencia final	176
Figura 159. Simulación CAE Camisa de Desgaste inicial	177
Figura 160. Simulación CAE Camisa de Desgaste final	178
Figura 161. Simulación CAE Pasador Tuerca-Camisa de Desgaste inicial	179
Figura 162. Simulación CAE Pasador Tuerca-Camisa de Desgaste final	179
Figura 163. Simulación CAE Cuña Camisa de Desgaste inicial	180
Figura 164. Simulación CAE Cámara de Bombeo inicial	181
Figura 165. Simulación CAE Cámara de Bombeo final	181
Figura 166. Simulación CAE Camisa Guía inicial	182
Figura 167. Simulación CAE Camisa Guía final	183
Figura 168. Simulación CAE Tapa de la Bomba inicial	183
Figura 169. Simulación CAE Tapa de la Bomba final	184
Figura 170. Simulación CAE Separador Rodamiento-Tuerca y del Separador	185
Figura 171. Simulación CAE Volante inicial	185
Figura 172. Simulación CAE Volante final	186
Figura 173. Simulación CAE Palanca para Torque inicial	186

Figura 174. Simulación CAE Palanca para Torque final	187
Figura 175. Simulación CAE cuña Tornillo-Volante	187
Figura 176. Simulación CAE Bases de la Bomba	188
Figura 177. Simulación CAE Pasador Antigiro	189
Figura 178. Máquina Herramienta CNC SHENYANG MACHINE TOOL CO., LTD. Serie CAK 5085 di	192
Figura 179. Máquina Herramienta CNC HNC serie CK6032/70	193
Figura 180. Máquina Herramienta CNC DOOSAN LYNX 220 LM	194
Figura 181. Máquina Herramienta CNC HNC CNC Milling Machine XK7132	195
Figura 182. Cilindrado	197
Figura 183. Refrentado	197
Figura 184. Copiado	198
Figura 185. Ranurado	198
Figura 186. Roscado	199
Figura 187. Taladrado	199
Figura 188. Alesado	200
Figura 189. Tronzado	200
Figura 190. Taladrado complementario	201
Figura 191. Escariado	201
Figura 192. Planeado	202
Figura 193. Taladrado fresa	203
Figura 194. Ranurado de forma	203
Figura 195. Herramienta de corte DWLNL 2020 K08	204
Figura 196. Herramienta de corte MWLNR 2525 K08	204
Figura 197. Herramienta de corte MCLNR 2525 K12	205
Figura 198. Herramienta de corte MVJNL 2020 K16	205
Figura 199. Herramienta de corte S16Q-SCLCR09	206
Figura 200. Herramienta de corte A16R-SCLCLC09	206
Figura 201. Herramienta de corte A08J-SCLCL06	207
Figura 202. Herramienta de corte A20Q SDUCR 07	207

Figura 203. Herramienta de corte SER2020 K16	208
Figura 204. Herramienta de corte A12M-NNT0R2	208
Figura 205. Herramienta de corte A4SML2020K0414	209
Figura 206. Herramienta de corte de la serie QE—L	209
Figura 207. Herramienta de corte 151.21-30	210
Figura 208. Broca de centro	210
Figura 209. Brocas de tamaño normal	211
Figura 210. Broca extralarga	211
Figura 211. Herramienta de fresado S250 / S256	212
Figura 212. Herramienta de fresado S250 / S256 2	212
Figura 213. Selección de inserto para rosca métrica	214
Figura 214. Selección del inserto para roscado exterior tipo ACME	215
Figura 215. Selección del inserto para roscado interior tipo ACME	216
Figura 216. Porta plaquitas para roscado interior tipo ACME	217
Figura 217. Selección del inserto para el tronzado	218
Figura 218. Sistema de sujeción uno	219
Figura 219. Sistema de sujeción dos	219
Figura 220. Sistema de sujeción tres	220
Figura 221. Sistema de sujeción para brocas	221
Figura 222. Proceso Mecanizado Pistón Tapa	222
Figura 223. Pistón Tapa Terminado	226
Figura 224. Proceso Mecanizado Pistón	231
Figura 225. Pistón Terminado	232
Figura 226. Proceso Mecanizado Vástago (primera fase)	233
Figura 227. Proceso Mecanizado Vástago (segunda fase)	235
Figura 228. Vástago Terminado	237
Figura 229. Proceso Mecanizado Tuerca	239
Figura 230. Tuerca Terminada	241
Figura 231. Proceso Mecanizado Tornillo	244
Figura 232. Tornillo de Potencia Terminado	245

Figura 233. Proceso Mecanizado Camisa de Desgaste (primera fase)	247
Figura 234. Proceso Mecanizado Camisa de Desgaste (segunda fase)	249
Figura 235. Camisa de Desgaste Terminado	250
Figura 236. Proceso Mecanizado Separador Camisas	252
Figura 237. Separador Camisas Terminado	253
Figura 238. Proceso Mecanizado Separador Rodamiento-Tuerca	256
Figura 239. Separador Rodamiento-Tuerca Terminado	257
Figura 240. Proceso Mecanizado Volante (primera fase)	259
Figura 241. Proceso Mecanizado Volante (segunda fase)	260
Figura 242. Proceso Mecanizado Volante (tercera fase)	261
Figura 243. Volante Terminado	263
Figura 244. Proceso Mecanizado Cámara de Bombeo (primera fase)	265
Figura 245. Proceso Mecanizado Cámara de Bombeo (segunda fase)	267
Figura 246. Proceso Mecanizado Cámara de Bombeo (tercera fase)	269
Figura 247. Proceso Mecanizado Cámara de Bombeo (cuarta fase)	270
Figura 248. Cámara de Bombeo Terminada	270
Figura 249. Proceso Mecanizado Camisa Guía (primera fase)	272
Figura 250. Proceso Mecanizado Camisa Guía (segunda fase)	274
Figura 251. Proceso Mecanizado Camisa Guía (tercera fase)	275
Figura 252. Proceso Mecanizado Camisa Guía (cuarta fase)	276
Figura 253. Camisa Guía Terminado	276
Figura 254. Proceso Mecanizado Tapa	278
Figura 255. Tapa Terminada	280
Figura 256. Proceso Mecanizado Contador	282
Figura 257. Contador Terminado	283
Figura 258. Proceso Mecanizado Bases (primera fase)	284
Figura 259. Proceso Mecanizado Bases (segunda fase)	285
Figura 260. Base Frontal Terminada	286
Figura 261. Base Antigiro Terminada	286
Figura 262. Base Posterior Terminada	287

Figura 263. Proceso Mecanizado Pin-Palanca	288
Figura 264. Pin Terminado	288
Figura 265. Palanca Terminada	289
Figura 266. Proceso Mecanizado Manifold	292
Figura 267. Prueba del Prototipo de Bomba de desplazamiento positivo	293
Figura 268. Presión de prueba-bomba 4900 psi	294
Figura 269. Presión de prueba bomba 8700 psi	295
Figura 270. Presión de prueba-bomba 10000 psi	296
Figura 271. Ensamble 1	298
Figura 272. Ensamble 2	299
Figura 273. Ensamble 3	300
Figura 274. Ensamble 4	301
Figura 275. Ensamble 5	302
Figura 276. Ensamble 6	303
Figura 277. Ensamble 7	304
Figura 278. Ensamble 8	305
Figura 279. Ensamble 9	306
Figura 280. Ensamble FINAL	307
Figura 281. Montaje adecuado para el prototipo de Bomba de desplazamiento positivo	308
Figura 282. Final de la carrera del Pistón	309
Figura 283. Inicio de la carrera del Pistón	310
Figura 284. Primera etapa para la inyección de lubricante	313
Figura 285. Segunda etapa para la inyección de lubricante	313
Figura 286. Drenaje del prototipo de Bomba de desplazamiento positivo	314
Figura 287 Lubricación Tornillo de Potencia-Tuerca, Rodamientos	315
Figura 288. Lubricación Rodamientos	316
Figura 289. Instalación de Tubing, LET-LOK	317
Figura 290, Dimensiones y pruebas de presión para Tubería API 5L	326
Figura 291. AUTOCLAVE	328

Figura 292. Ensamble de Componentes Para la Prueba de Integridad	329
Figura 293. Purgado de la prueba de integridad	330
Figura 294. Presión 1000 psi	331
Figura 295. Presión 3500 psi	331
Figura 296. Presión 5000 psi	332
Figura 297. Gráfica Presión de Prueba Vs Tiempo	333
Figura 298. Fuga presente en la etapa inicial de la prueba de integridad	334

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Partes del prototipo de bomba.	50
Tabla 2. Valor de relaciones diagrama QFD	52
Tabla 3. Símbolos de los equipos evaluados	53
Tabla 4. Dimensiones Tornillo de potencia ACME	67
Tabla 5. Coeficiente de fricción Tornillo - Tuerca	69
Tabla 6. Factor de fricción en rodamientos	69
Tabla 7. Coeficientes para la ecuación de factor superficial	75
Tabla 8. Valores de K_f y K_{fs}	76
Tabla 9. Datos Análisis de falla por aplastamiento	78
Tabla 10. Factor de Seguridad Elementos Prototipo de Bomba de Desplazamiento Positivo	190
Tabla 11. Gastos construcción Prototipo de Bomba de desplazamiento Positivo	336
Tabla 12. Gastos instrumentación de alta presión	338
Tabla 13. Gastos elementos sistema de llenado y estructura del banco de pruebas de integridad	339
Tabla 14. Sumatoria de Gastos	340

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
Anexo A. Cotización manufactura del prototipo de bomba	349
Anexo B. Tratamiento Térmico acero AISI 4140	350
Anexo C. Tabla Propiedades de los Aceros	351
Anexo D. Plaquetas Walter Tiger	354
Anexo E. Plaqueta Alesado Kennametal	357
Anexo F. Plaquetas Ranurado Kennametal	360
Anexo G. Plaquetas Tronzado Sandvik	362
Anexo H. Plaqueta roscado ACME	365
Anexo I. Operaciones Taladrado Latón y Aluminio	366
Anexo J. Plaquetas roscado exterior ACME	367
Anexo K. Plaqueta roscado exterior "Métrica"	369
Anexo L. Plaqueta de roscar interno" Métrica"	370
Anexos PLANOS	373

INTRODUCCIÓN

La escuela de Ingeniería Mecánica como parte de su formación en el estudio del diseño, construcción de elementos y sistemas mecánicos, analiza las necesidades de la sociedad y la industria con el fin de proporcionar soluciones eficientes y sencillas, mediante la concepción de proyectos a la vanguardia que contribuyen al desarrollo tecnológico de la Universidad.

La escuela de Ingeniería Mecánica se ha interesado en el diseño de dispositivos mecánicos para fortalecer las prácticas en los laboratorios como parte de la formación integral de los estudiantes, como sucede en el grupo de investigación DICBOT que cuenta con equipos para el desarrollo de pruebas de integridad en tubería, que sin embargo se han deteriorado por el paso del tiempo y falta de mantenimiento, retirándolos del servicio en el laboratorio.

El grupo de investigación DICBOT planteó el desarrollo de este proyecto que consiste en el diseño y construcción de un prototipo de bomba manual de desplazamiento positivo de alta presión, con un funcionamiento que requiere alta precisión para llevar a cabo proporcionalmente el desplazamiento de fluidos en condiciones de elevadas presiones. Este tipo de dispositivo es ampliamente usado en el mundo de la investigación y los laboratorios de calidad que ofrecen los servicios de inspección técnica y mantenimiento para elementos que transportan hidrocarburos en la industria del petróleo.

Este prototipo de bomba de desplazamiento positivo esta construida y probada para funcionar de manera confiable, sin problemas y con seguridad a una presión de trabajo máxima de 10000 psi.

1. DESCRIPCIÓN GENERAL DEL BANCO DE PRUEBAS DE ALTA PRESIÓN PARA REALIZAR PRUEBAS HIDROSTÁTICAS EN TUBERÍAS QUE TRANSPORTAN HIDROCARBUROS

El banco de pruebas hidrostáticas es un conjunto de elementos esenciales para la realización de ensayos no destructivos en tuberías de transporte de hidrocarburos, con la capacidad de efectuar el llenado y presurización de la tubería; el banco consta de dos sistemas de transporte de fluido para realizar pruebas de integridad. El principal se denomina SISTEMA DE PRESURIZACIÓN, acompañado de un sistema secundario denominado SISTEMA DE LLENADO. El fluido de prueba utilizado es agua limpia, libre de residuos sólidos e impurezas.

Figura 1. Banco de pruebas para pruebas de integridad en tubería



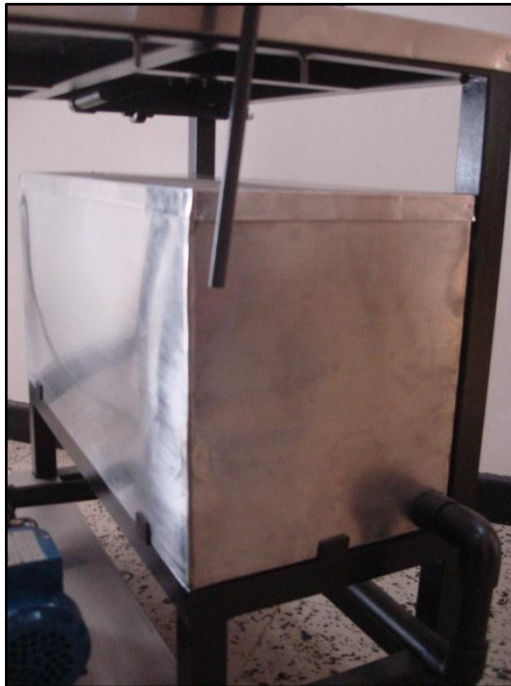
Fuente: Los Autores

1.1. SISTEMA DE LLENADO DE LA TUBERÍA:

El sistema de llenado consta de los siguientes elementos:

- a. Un tanque de almacenamiento hecho en acero inoxidable, esto para evitar cualquier reacción química (corrosión, oxidación) entre el fluido y el material, así mismo entre el material y el ambiente. El tanque cuenta con una capacidad de almacenamiento máxima de 0.07436 m^3 (74.360 L).

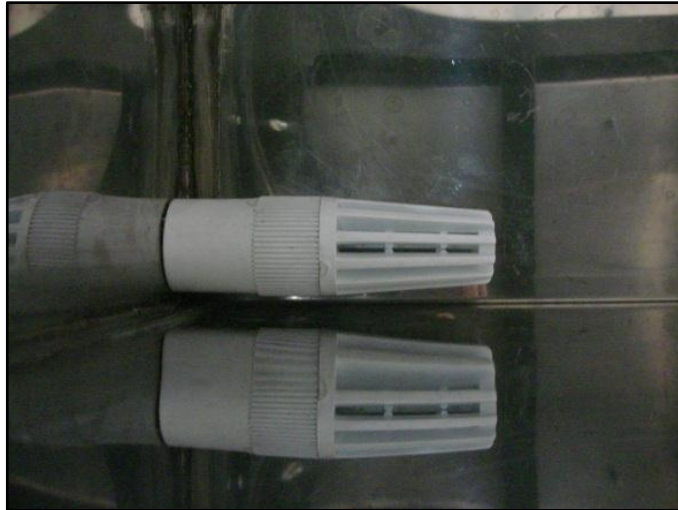
Figura 2. Tanque de almacenamiento del sistema de llenado



Fuente: Los Autores

- b. Una línea de succión en PVC de 1 in de diámetro y 1.18 m de longitud, que alimenta una bomba centrífuga para el llenado del segmento de prueba. En el trayecto de esta línea se encuentran:
 - Una válvula de pie que se utiliza como filtro, mediante la adaptación de una malla ASTM E 11/95 #8 Luz 1mm.

Figura 3. Filtro de la línea de succión de la bomba de llenado



Fuente: Los Autores

- 2 conectores rectos macho en PVC de 1 in, uno a la salida del tanque de almacenamiento y otro en el puerto de succión de la bomba.
- 4 codos de 90° en PVC
- Una unión universal en PVC de 1 in.

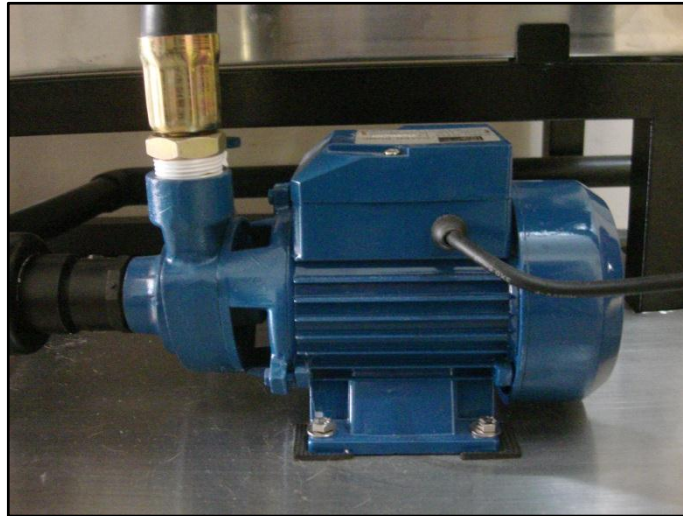
Figura 4. Línea de succión de la bomba de llenado



Fuente: Los Autores

- c. Una bomba centrífuga marca Electric line de 0.5 Hp, caudal máximo 35 L/min y altura máxima de 35 m de agua, diámetro de succión y descarga 1in.

Figura 5. Bomba de llenado



Fuente: Los Autores

- d. Una línea de descarga en manguera flexible para una operación máxima de 250 psi de 3/4 in de diámetro interior y 70 cm de longitud marca Parker, que va de la descarga de la bomba a una unión reductora de 1 1/16 in JIC a 1/2 NPT soldada a la estructura del banco.

En el trayecto de esta línea se encuentran:

- Un conector recto macho con espiga grafado a la manguera en acero zincado de 1 in, para la descarga de la bomba.
- Un conector hembra giratoria con espiga en acero zincado de 1 1/16 in JIC grafado en la manguera, que va unido a la reducción unión reductora de 1 1/16 in JIC a 1/2 NPT.

Figura 6. Línea de descarga inicial



Fuente: Los Autores

- e. Una unión hembra en bronce latón de 1/2 NPT, que se conecta a la unión reductora 1 1/16 in JIC a 1/2 NPT.
- f. Una línea de descarga en manguera flexible para una operación máxima de 250 psi de 1/2 in de diámetro interior y 2 m de longitud, que va desde la unión hembra de 1/2 NPT hasta la sección de prueba. En el trayecto de esta línea se encuentran:
 - Un conector recto macho con espiga grafado a la manguera, en bronce de 1/2 NPT
 - Un conector hembra giratorio en acero zincado de 3/4 JIC.
 - Un conector recto en acero inoxidable de 3/4 JIC a 1/2 NPT.
 - Una cupla en acero inoxidable de 1/2 NPT.

- Una válvula de aguja en acero inoxidable de 1/2 NPT para una operación máxima de 6000 Psi.
- Un niple macho NPT en acero inoxidable de 1/2 NPT, que finaliza este tramo de línea y lo acopla a la sección de prueba.

Figura 7. Línea de descarga a la sección de prueba



Fuente: Los Autores

1.2. SISTEMA DE PRESURIZACIÓN DE LA TUBERÍA:

El objetivo del desarrollo del proyecto se enfoco en la selección, diseño y manufactura de este sistema. Obteniéndose como resultado un prototipo de bomba manual de desplazamiento positivo con capacidad de operación hasta de 10000 psi y un volumen máximo de 50 cc. El sistema de presurización consta de los siguientes elementos:

- a. Un tanque de almacenamiento hecho en acrílico, resistente a la oxidación y a la corrosión. Contiene el fluido que es succionado por la bomba de desplazamiento positivo.

El tanque cuenta con una capacidad de almacenamiento máxima de 3170 cc (3.17 L).

Figura 8. Tanque de almacenamiento del sistema de presurización

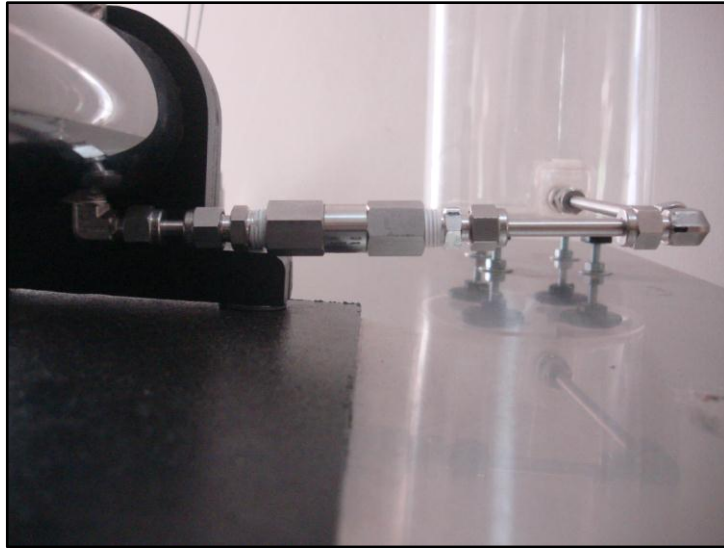


Fuente: Los Autores

b. Una línea de succión de 1/4 in de diámetro y 35 cm de longitud en acero inoxidable AISI 316L, que soporta una presión máxima de 10300 psi. Incluye los siguientes elementos:

- 3 conectores rectos 1/4 OD x 1/4 NPT en acero inoxidable AISI 316L, uno como conexión al tanque de almacenamiento y dos como conexiones a la válvula check.
- Una válvula check 1/4 NPT x 1/4 NPT en acero inoxidable AISI 316L, con una presión máxima de servicio de 6000 psi.
- 1 codo de 90° de 1/8 NPT x 1/4 OD en acero inoxidable AISI 316L como conexión a la succión de la bomba de desplazamiento positivo.

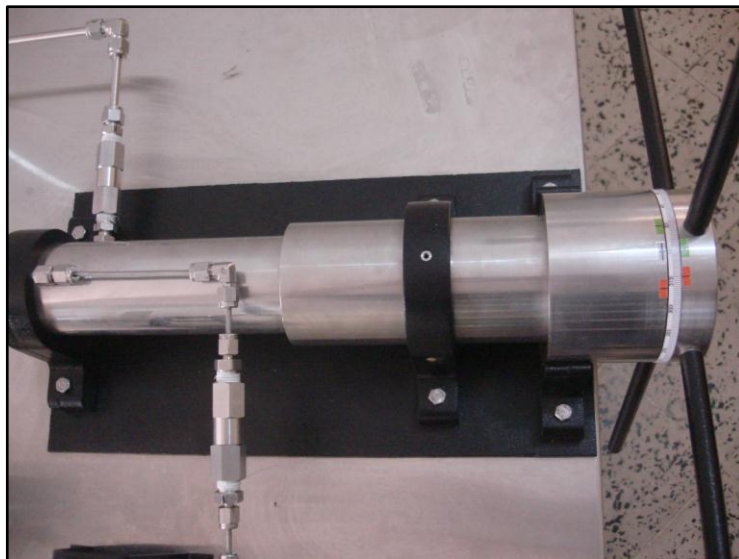
Figura 9. Línea de succión del sistema de presurización



Fuente: Los Autores

c. Una bomba manual de desplazamiento positivo en acero inoxidable AISI 304, accionada por tornillo de potencia con un torque de 9.36 Kg-m a una presión máxima de 10000 psi, con un diámetro de succión y descarga de 1/8 NPT.

Figura 10. Prototipo de bomba de desplazamiento positivo

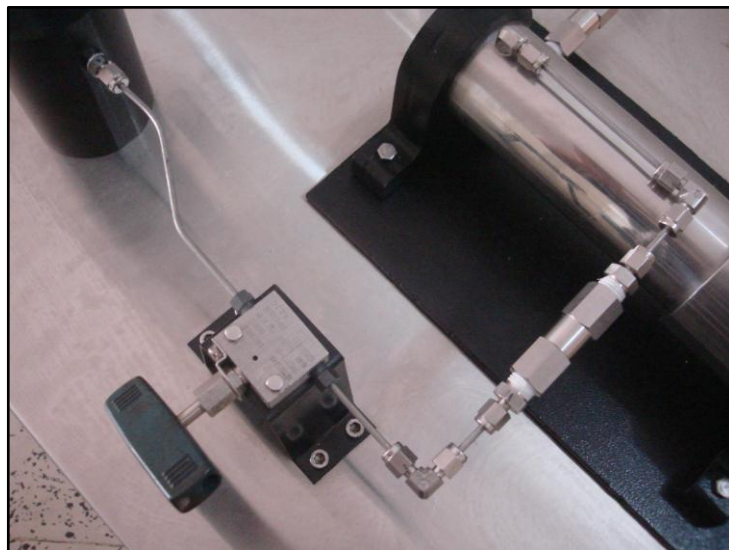


Fuente: Los Autores

d. Una línea de descarga de 1/8 in de diámetro y 53 cm de longitud en acero inoxidable AISI 316L, que soporta una presión máxima de 10950 psi. Incluye los siguientes elementos:

- 2 conectores rectos 1/8 OD x 1/8 NPT en acero inoxidable AISI 316L, los cuales son conexiones al manifold.
- 1 codo de 90° de 1/8 NPT x 1/8 OD en acero inoxidable AISI 316L como conexión a la descarga de la bomba de desplazamiento positivo.
- 2 reductores 1/8 OD x 1/4 NPT en acero inoxidable AISI 316L, ambos como conexión a la válvula check.
- Una válvula check 1/4 NPT x 1/4 NPT en acero inoxidable AISI 316L, con una presión máxima de servicio de 6000 psi.
- Una válvula de aguja AUTOCLAVE ENGINEERING 1/8 OD x 1/8 OD en acero inoxidable AISI 316L, con una presión máxima de servicio de 11000 psi.

Figura 11. Línea de descarga del sistema de alta presión



Fuente: Los autores

e. Un manifold con 4 puertos, uno de 1/2 NPT para el acople del manómetro, uno de 1/4 NPT para el acople con la válvula de seguridad, dos de 1/8 NPT para la entrada y salida de la línea de presurización.

Las características de estos elementos son:

- Un manómetro de 4 in de caratula marca BOURDON HAENNI en acero inoxidable 316L clase 5, con un rango de lectura de 0 – 15000 psi.
- Una válvula de seguridad HAMLET en acero inoxidable AISI 316L tarada de 5000 – 6000 psi con preapertura aproximadamente a 5600 psi.

Figura 12. Manifold



Fuente: Los Autores

f. Una línea de presurización del manifold a la tubería de prueba de 1/8 in en acero inoxidable 316L, que depende de la ubicación del segmento de prueba para establecer su longitud, la cual debe incluir como mínimo los siguientes elementos para llevar a cabo la prueba:

- Una válvula de aguja AUTOCLAVE ENGINEERING 1/8 OD x 1/8 OD en acero inoxidable AISI 316L, con una presión máxima de servicio de 11000 psi, que sirve ventear el aire restante del sistema.
- un conector recto 1/8 OD x 1/8 NPT en acero inoxidable AISI 316L, utilizado como conexión a la brida de la sección de prueba.
- Una Tee 1/8 OD x 1/8 OD x 1/8 OD en acero inoxidable 316L, que conecta la línea de presurización, la válvula de venteo y la sección de prueba.

Figura 13. Conexión a la sección de prueba



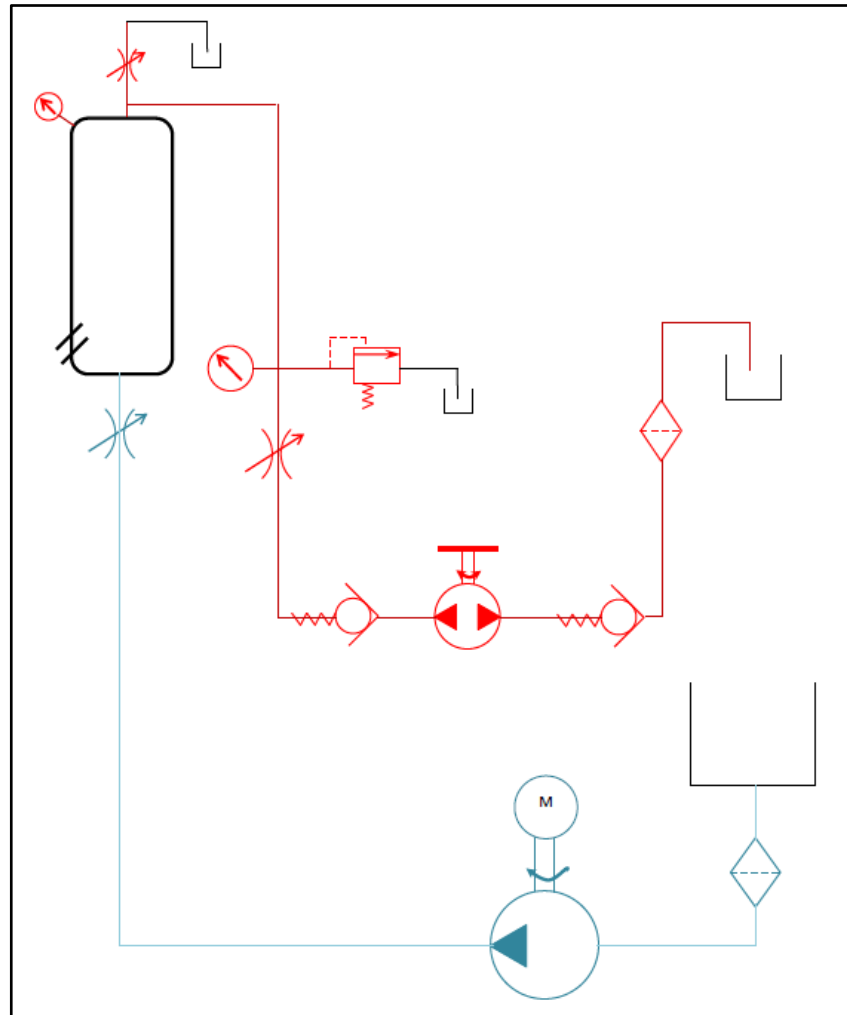
Fuente: Los Autores

1.3. ESQUEMA HIDRÁULICO DEL BANCO DE PRUEBAS

Toda la información para la instalación descrita anteriormente puede ser condensada en un circuito hidráulico, donde el Sistema de Presurización presenta una tonalidad rojiza, enfatizando que corresponde a una línea de conducción del fluido de prueba a alta presión.

Seguido al sistema anterior, se resalta el Sistema de Llenado con un color azul que asemeja la conducción del fluido de prueba a presión atmosférica.

Figura 14. Esquema Hidráulico del Banco de Pruebas.



Fuente: Los Autores

1.4. OBJETIVOS DEL TRABAJO DE GRADO

1.4.1. Objetivos Generales

- ✓ Contribuir con la visión de la Universidad Industrial de Santander, fortaleciendo la relación Universidad-Industria, al tener la posibilidad de ofrecer un

servicio de investigación y extensión mediante el diseño y manufactura de un equipo hidráulico para realizar pruebas de integridad en tubería petrolera.

1.4.2. Objetivos Específicos

- ✓ Realizar el diseño de una bomba de desplazamiento positivo de pistón, el cual es accionado por la rotación de un tornillo de potencia; con la capacidad de desplazar hasta 50 cm³ para elevar y mantener presiones máximas de 10000 psi.
- ✓ Diseñar el mecanismo que permita desplazar el pistón en la cámara de bombeo mediante la rotación de un tornillo de potencia.
- ✓ Selección de materiales inoxidables para el cuerpo de la bomba, adecuados para el manejo de fluidos como el agua u otros que puedan causar daños en la estructura química de la bomba por efecto de la oxidación o corrosión.
- ✓ Selección de accesorios hidráulicos de alta presión que garanticen la estanqueidad del líquido presurizado en la cámara de bombeo, además de la selección de los sensores que indiquen los valores de presión alcanzados.
- ✓ Manufacturar el prototipo de bomba accionada por tornillo usando máquinas herramientas CNC, buscando obtener un equipo de alta precisión en tolerancias para garantizar un funcionamiento óptimo en la aplicación que le sea asignada; sin exceder sus límites de diseño.
- ✓ Validar el prototipo de bomba de desplazamiento positivo, realizando una prueba hidrostática siguiendo la NORMA API RP1110, en un equipo que simula una tubería para el transporte de hidrocarburos en la industria petroquímica, diseñada bajo norma API 5L.

- ✓ Realizar el montaje de un banco de pruebas que permita realizar pruebas hidrostáticas en tuberías petroleras según la NORMA API RP1110.
- ✓ Seleccionar válvulas check, válvulas de seguridad, válvulas de aguja, codos, Tees, líneas de tubing y otros accesorios de instrumentación en acero inoxidable, para la instalación hidráulica del banco de pruebas hidrostáticas.

NOTA ACLARATORIA:

La instrumentación del banco de pruebas es netamente mecánica, no se considera la instrumentación digital.

La prueba hidrostática planteada en el plan de proyecto para tubería API 5L grado X-52 fue modificada por una prueba hidrostática en un dispositivo, que simula la operación y características de las tuberías mas resistentes para el transporte de hidrocarburos, diseñadas bajo la norma API 5L. Esto debido a que se presentó la necesidad de cubrir una prueba de integridad que solicitó el Centro para la Investigación de la Corrosión, realizar en un reactor o dispositivo autoclave.

2. PROCESO DE DISEÑO CONCEPTUAL PARA EL PROTOTIPO DE BOMBA MANUAL DE DESPLAZAMIENTO POSITIVO

Durante el transcurso del tiempo se han planteado numerosos diseños de bombas de desplazamiento positivo, donde el fluido se aspira dentro de un volumen en expansión y luego se expulsa cuando ese volumen se contrae, pero el mecanismo que provoca que cambie el volumen es muy diferente entre los diversos diseños. Las bombas de desplazamiento positivo son ideales cuando se necesita alta presión, como en el bombeo de líquidos viscosos o mezclas, lodos o suspensiones espesas, y donde se necesita medir o despachar cantidades de líquido precisas. Con el aporte del diseño y construcción de un prototipo de bomba manual de desplazamiento positivo, se espera entregar un equipo similar a las bombas manuales de alta presión, con una mejora del mecanismo de bombeo, el cual permita desplazar una cantidad de fluido hasta llegar a las condiciones de presión deseadas con tan solo una carrera del elemento responsable de presurizar, pero con la ventaja de suprimir los pulsos de presión que son naturales en el funcionamiento de las bombas reciprocantes o de pistón con las que cuenta la escuela.

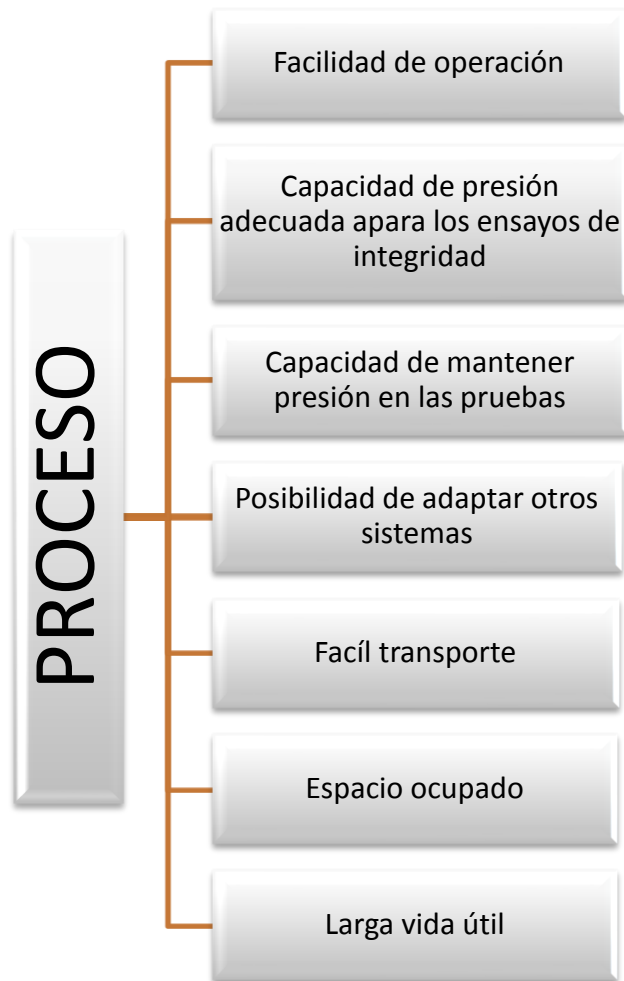
El diseño del prototipo está enfocado igualmente para alcanzar una larga vida útil en la operación y correcto funcionamiento mediante la adecuada selección de materiales inoxidables para el cuerpo de la bomba, además de un mecanizado de alta precisión en tolerancias.

2.1. NECESIDADES DEL LABORATORIO DICBOT DE INGENIERÍA MECÁNICA

La industria petroquímica nacional requiere de pruebas hidrostáticas a alta presión en tuberías y accesorios para el transporte de hidrocarburos. Contemplando el centro de investigación DICBOT adscrito a la escuela de Ingeniería Mecánica fortalecer la relación universidad-industria petroquímica, ha planteado la

posibilidad de ofrecer un servicio de extensión e investigación para llevar a cabo pruebas de integridad en tubería petrolera, con lo cual se hace necesario el diseño de un sistema o adquisición de un equipo hidráulico que permita cumplir con los mínimos estándares de calidad para la realización de este tipo de actividad, usando como marco de referencia la norma ASME B31.4 y API RP1110. Se establecieron las demandas básicas respecto a las características en el funcionamiento y comportamiento en el proceso de bombeo, junto con la máxima capacidad de operación para el prototipo de bomba a diseñar:

Figura 15. Organización de requerimientos del consumidor





Fuente: Los Autores

2.2. PARÁMETROS DE DISEÑO

Se establecen los siguientes requisitos para garantizar las condiciones de funcionamiento y parámetros de operación establecidos por las necesidades del laboratorio DICBOT:

- I. Eliminar los pulsos de presión característicos de las bombas reciprocantes y de pistón al entregar un volumen de fluido al sistema:
 - Mecanismo sencillo para desplazar relativamente constante el elemento responsable de presurizar la cámara de bombeo.
- II. Generar una presión máxima de 10000 psi:
 - Mecanismo capaz para producir un torque, que pueda ser ejecutado por cualquier operario al generar la máxima presión exigida por el sistema.
- III. Compacto, pues se requiere desplazar pequeñas cantidades de flujo (50 cc), ya que su característica esencial en su aplicación es generar presiones elevadas.

- IV. Fácil transporte para poder realizar las pruebas de integridad en diferentes lugares, ya sea en campo, laboratorios, etc.
- V. Bajo costo al diseñar el mínimo de piezas que permita el correcto funcionamiento del prototipo de bomba, cumpliendo con los requisitos de operación establecidos (presión máxima 10000 psi – volumen máximo 50 cc).
- VI. Seleccionar los materiales adecuados para que no reaccione químicamente con el ambiente y así aumentar la vida útil de los elementos de la bomba de desplazamiento positivo.
- VII. Precisión para las piezas móviles y aquellas que tengan ajustes, incluyendo un buen acabado y tolerancias en la cámara de bombeo garantizando la hermeticidad de la misma.

2.3. ALTERNATIVAS ENTRE LA COMPRA DE UNA BOMBA MANUAL DE ALTA PRESIÓN Vs EL DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO DE BOMBA MANUAL PARA ALTAS PRESIONES.

2.3.1. Primer alternativa:

Recuperar alguna de las bombas disponibles en la escuela de Ingeniería Mecánica. En la Figura 16 se puede visualizar un modelo de bomba manual de alta presión con la que cuenta el grupo de investigación DICBOT. Funciona bajo el principio de las bombas volumétricas o de desplazamiento positivo, mediante la acción de un pistón pequeño que entrega paquetes de fluido mientras eleva la presión cerca de los 5000 psi.

Aunque su apariencia refleja el paso de los años y el deterioro de la misma, ésta bomba aun funciona y diseñada para trabajar con aceite.

Figura 16. Bomba para pruebas hidrostáticas (5000 psi)



Fuente: Los Autores

En la Figura 17 se observa el segundo tipo de bomba manual de alta presión que tiene el mismo principio de funcionamiento de la mencionada anteriormente, sin embargo tiene una capacidad de elevar presiones menores a la indicada en la Figura 16, cerca de los 3000 psi.

De las bombas manuales de alta presión con las que cuenta la escuela de Ingeniería Mecánica, ninguna se adapta a la necesidad de presurizar sin generar pulsos de presión, sumado a esto cabe resaltar la falta de mantenimiento para cada una de las bombas disponibles en el laboratorio DIC-BOT (Figura 17).

Teniendo en cuenta lo anterior estas bombas no son viables para una posible aplicación de pruebas hidrostáticas que superen presiones de prueba de 3000 psi, y no permite cumplir con un rango de trabajo más amplio para evaluar las tuberías diseñadas bajo la norma API 5L

Figura 17. Bomba para pruebas hidrostáticas (3000 psi)



Fuente: Los Autores

2.3.2. Segunda alternativa:

Compra de una bomba para pruebas hidrostáticas con un valor en el mercado de un millón ciento sesenta y nueve mil pesos (\$1`169.200.00) sin incluir los costos de importación con una capacidad inferior a 1000 psi, siendo una bomba de baja presión para la aplicación requerida y no cuenta con la capacidad de llevar a cabo la presurización de sistemas hidráulicos sin generar pulsos de presión.

En la Figura 18 vemos un ejemplo de este tipo de bombas del fabricante FAMEXVAL, cuya empresa se encuentra ubicada en la ciudad de México. Es importante resaltar que muchas empresas que importan este tipo de dispositivos requieren que se realice el pedido de más de una unidad según sea el equipo seleccionado.

Figura 18. Bomba para pruebas hidrostáticas. FAMEXVAL



Fuente: <http://www.famexval.com.mx>

2.3.3. Tercera alternativa:

Continuando con la búsqueda en el mercado de las bombas que puedan adaptarse a los requerimientos del prototipo que se va a diseñar, se encontró un tipo de bomba de émbolo que permite entregar una cantidad de flujo relativamente constante (debido a la condición de accionamiento manual), sin generar pulsos de presión. Está diseñada para proporcionar presión hidráulica y medidas de volumen para la transferencia de gas y líquido en celdas de alta presión; fabricada con materiales inoxidables y acabados de alta precisión. La Figura 19 muestra la bomba modelo MP 50 del fabricante VINCI, la cual tiene un valor aproximado de dieciocho millones de pesos (\$18`000.000), sin incluir los costos de importación.

Esta es una opción bastante aproximada al equipo que se busca cumpla con la necesidad de alcanzar altas presiones sin generar pulsos de presión durante la inyección de caudal. El factor limitante en este caso sería disponer del presupuesto suficiente para la importación de la bomba, sin tener en cuenta que faltaría adquirir los accesorios y demás materiales para la construcción del banco de pruebas de integridad en tuberías petroleras, incrementándose el valor total del equipo.

Figura 19. Bomba manual MP 50. VINCI TECHNOLOGIES



Fuente: <http://www.vinci-technologies.com>

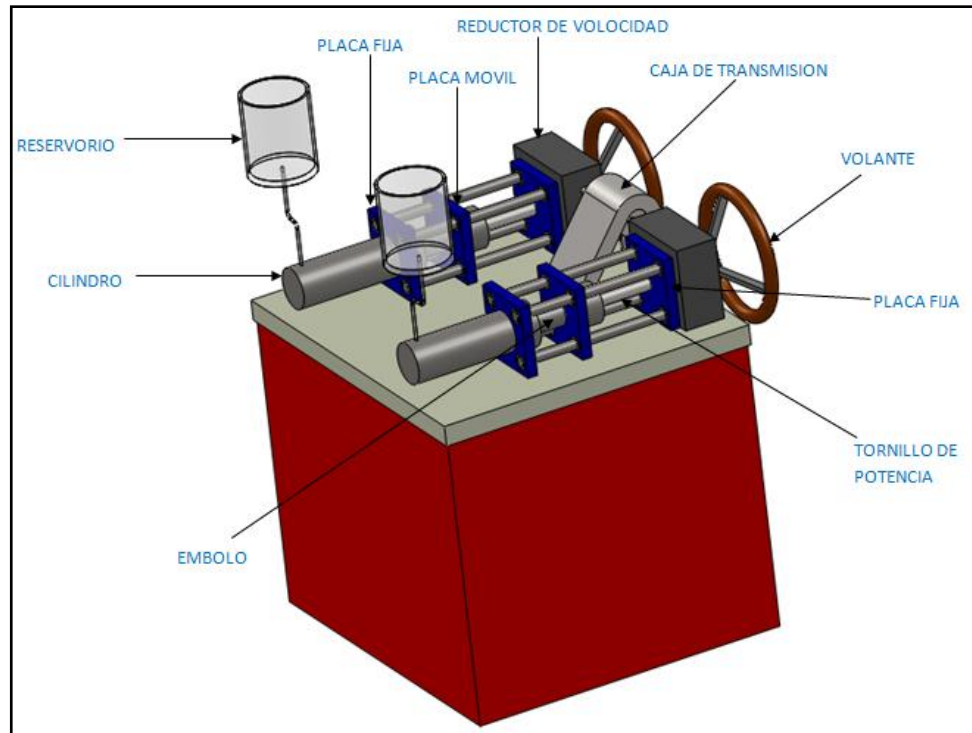
2.3.4. Cuarta alternativa:

Después de analizar las distintas alternativas ofrecidas en el mercado, se plantearon algunos diseños que pudieran cumplir con los requerimientos del prototipo mencionado anteriormente.

Se pensó en un mecanismo de tornillo que pudiera desplazar el pistón en la cámara de bombeo, de manera que el fluido sea inyectado hasta alcanzar las condiciones de presión requeridas, con tan solo una carrera de éste elemento sin generar los pulsos de presión de las bombas manuales. Sin embargo esto resultó en el interrogante de cómo obtener un diseño compacto, similar al que presenta el fabricante VINCI en la Figura 19.

Como resultado se obtuvo un primer diseño (Figura 20) que cumplía con los requerimientos de operación, con el inconveniente de ocupar un gran espacio reflejado por sus dimensiones establecidas para almacenar un volumen, que fue considerado luego como innecesario (500 C.C) para el tipo de aplicación requerida.

Figura 20. Primer diseño de una bomba motorizada.

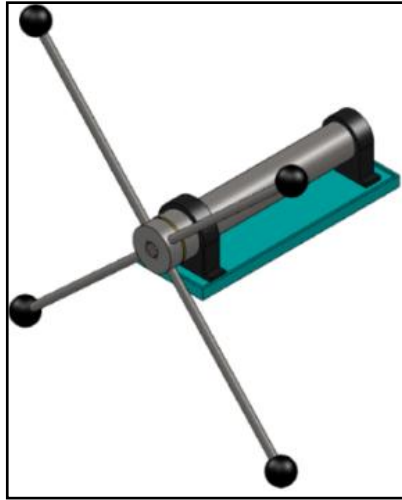


Fuente: Los Autores

Basados en la aplicación que corresponde a presurizar equipos previamente llenos (utilizando fluidos incompresibles, ejemplo: agua libre de impurezas), bajo un límite de presión de 10000 psi establecido como requerimiento máximo de operación de la bomba, y sin generar pulsos de presión por el mecanismo de accionamiento; se consideró dejar el tornillo de potencia como medio impulsor del pistón, pero con un volumen reducido (50 cc) utilizando una sola unidad para un diseño compacto y liviano, en vez de las dos unidades que fueron planteadas para el diseño anterior (Figura 20).

Con la finalidad de visualizar el diseño de la bomba que se ha pensado cumpla con innovar las bombas manuales de alta presión de la escuela de ingeniería mecánica, se presenta a continuación la Figura 21.

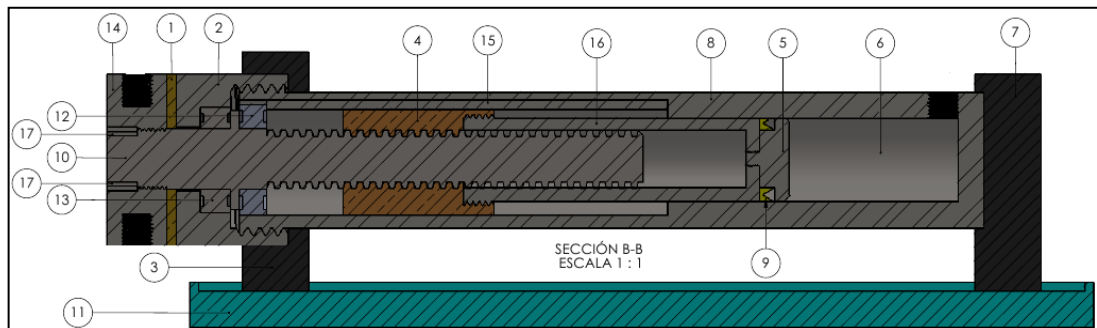
Figura 21. Bomba Prototipo para 10000 psi



Fuente: Los Autores

Para contemplar el funcionamiento interno de la bomba se ha realizado el siguiente corte longitudinal, donde se pueden ver los elementos que interactúan, identificados en la Tabla 1.

Figura 22. Corte lateral de la Bomba prototipo



Fuente: Los Autores

Este diseño permite mediante la rotación del tornillo de potencia (su desplazamiento está restringido), desplazar una tuerca que está unida a un vástago que actúa como columna, el cual mueve el pistón en la cámara de bombeo, además de proporcionar el espacio necesario para alojar el tornillo.

Tabla 1. Partes del prototipo de bomba.

ITEM	PARTE
1	Contador
2	Tapa de la bomba
3	Base frontal
4	Tuerca
5	Pistón
6	Cámara de bombeo
7	Base posterior
8	Camisa guía
9	Sello
10	Tornillo de potencia
11	Soporte bomba
12	Rodamiento de contacto angular
13	Rodamiento axial
14	Volante (elemento transmisor del torque)
15	Cuñero (para bloqueo de rotación de la tuerca)
16	Vástago (columna hueca impulsora del pistón)
17	Pasador tornillo-volante

Fuente: Los Autores

A partir de esta alternativa planteada se generaron varias transformaciones en la geometría original, buscando que el diseño se adaptara a elementos de fácil adquisición en el mercado, como al proceso de manufactura que dependía de las maquinas herramientas disponibles en el SENA (Servicio Nacional de Aprendizaje).

Se considero la posibilidad de fabricar el prototipo en una entidad particular, solicitando a la empresa “Multiservicios Industriales” llevar a cabo la cotización del proyecto pensado como cuarta alternativa; con un costo de \$ 4´313.344.00 pesos colombianos (Ver anexo A), sin contemplar que en el proceso de diseño de detalle surgen nuevas piezas y otras son modificaciones, incrementado aun mas el valor. Por esta razón se solicitó al SENA la posibilidad de ejecutar la manufactura del prototipo en el laboratorio de CNC, donde solo se requería de la materia prima y

adquisición de algunas herramientas faltantes en la entidad para ciertos procesos de mecanizado.

2.4. ANÁLISIS QFD DE LA BOMBA PROTOTIPO

Con el fin de presentar la viabilidad de la bomba prototipo frente a otras alternativas del mercado y con las disponibles en la escuela de Ingeniería Mecánica, se ha realizado un análisis QFD, el cual cuenta con las siguientes partes:

- Un conjunto de expectativas reunidas en una columna denominada “QUE’S”, las cuales son establecidas por las personas interesadas en el producto (grupo DIC-BOT).

“QUE’S”:

- Fácil de transportar
- Máxima presión 10000 psi
- Proceso de presurización estable
- Pequeño de tamaño
- Muy bajas tasas de flujo
- Larga vida útil
- Bajo costo
- Fácil operación
- Conexiones universales para tubería
- Fácil mantenimiento
- Seguro
- Baja fuerza de operación por parte del operario
- Posibilidad de adaptarle un motor eléctrico
- Capacidad de soportar altas presiones

- Un conjunto de características técnicas con las que se busca dar solución a las expectativas planteadas en los “QUE’S”, ubicadas en una fila denominada “COMO’S”.

“COMO’S”:

- Peso
 - Dimensiones
 - Materiales de construcción
 - Relación de transmisión
 - Alta capacidad de torque
 - Operatividad
 - Mantenibilidad
 - Acople al reductor de velocidad
- Se establece una serie de relaciones entre las expectativas y las características técnicas (“QUE’S” – “COMO’S”), calificadas en tres niveles:

Tabla 2. Valor de relaciones diagrama QFD

FUERTE	9 puntos	●
MEDIO	3 puntos	○
DÉBIL	1 punto	△

Fuente: Los Autores

Nota: Cuando no existe relación alguna, entre los “QUE’S” y los “COMO’S” la casilla queda en blanco.

- En la parte superior del análisis QFD (domo con forma de casa), se demarcan unos recorridos en forma diagonal que permiten establecer una relación positiva o negativa entre las características técnicas.

- Se incluye una evaluación con respecto a otros productos, teniendo como patrón a evaluar todas las características técnicas en la columna denominada “COMO’S”, permitiendo visualizar cual producto ha obtenido la mejor calificación, la cual se lleva a cabo en orden ascendente y va de 1 a 5, iniciando con el “Peso” y finalizando con el “Acople al reductor de velocidad”.

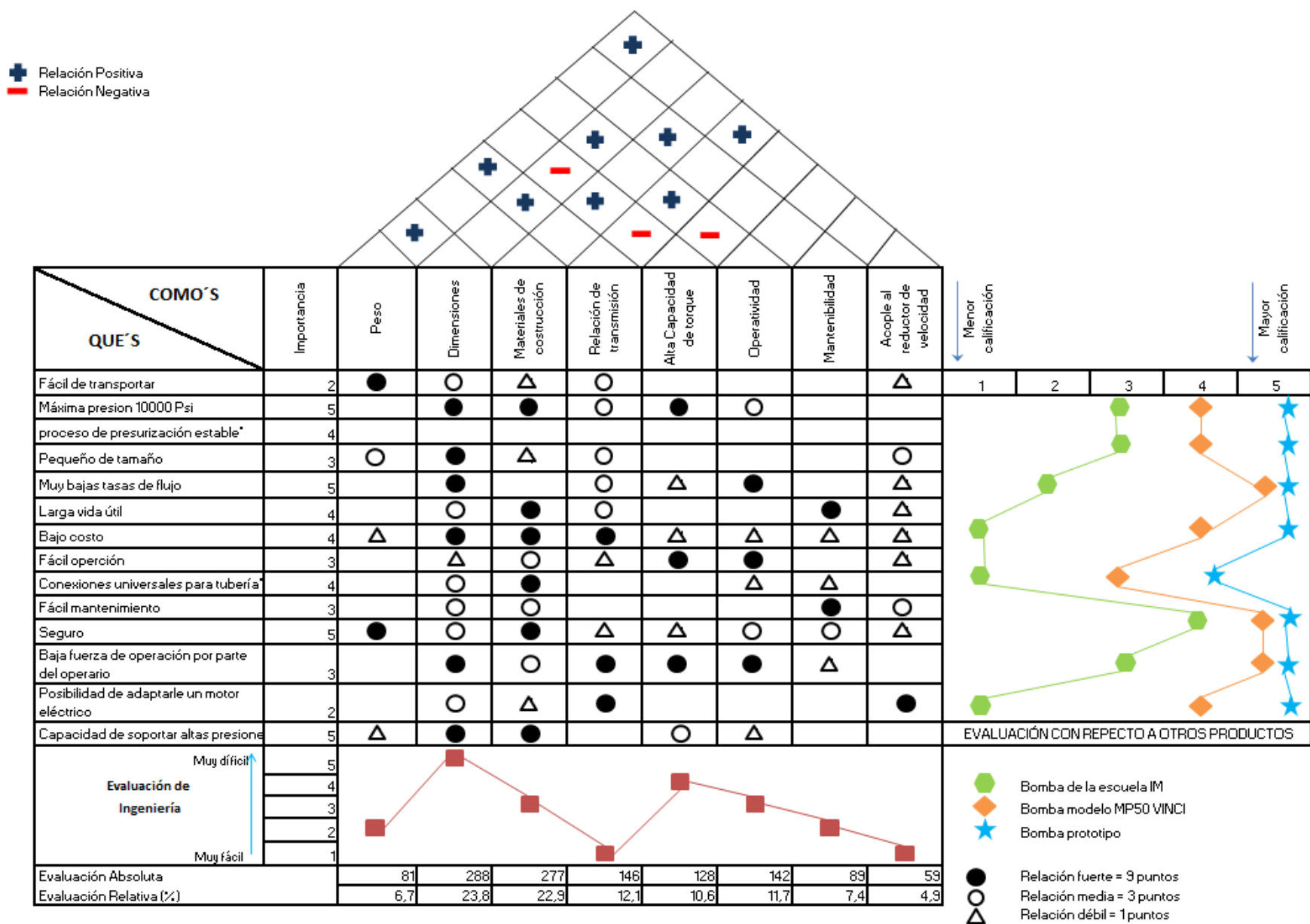
Tabla 3. Símbolos de los equipos evaluados

Bomba de la escuela Ingeniería Mecánica	
Bomba modelo MP50 VINCI	
Bomba prototipo	

Fuente: Los Autores

- Se realizo una evaluación de ingeniería que muestra lo complicado o fácil que puede ser el alcance de cada característica técnica y la importancia que tiene cada expectativa para las personas interesadas en el producto, valoradas de 1 a 5.

Figura 23. Diagrama QFD



Fuente: Los Autores

*No genere pulsos de presión

**Tuberías diseñadas bajo la norma ASME B 31.4

2.5. EVALUACIÓN DE ALTERNATIVAS

En conclusión la mejor alternativa resulta ser el diseño de un prototipo de bomba de desplazamiento positivo; ya sea por costo, requerimientos de funcionamiento, expectativas del prototipo y por las características técnicas.

Esto se puede evidenciar de la evaluación con respecto a otros productos que se muestra en el análisis QFD.

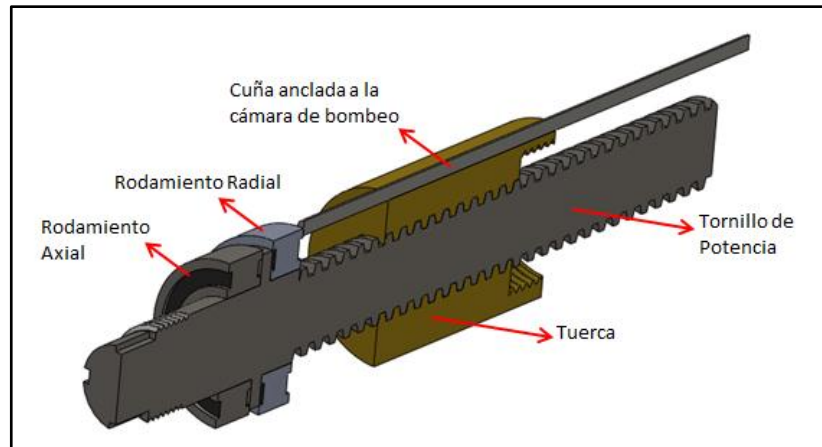
2.6. DESCRIPCIÓN DEL PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO DEL PROTOTIPO A DESARROLLAR.

El concepto básico del funcionamiento del prototipo de bomba manual de desplazamiento positivo radica en los siguientes parámetros.

- Funcionamiento sin pulsos de presión: Como se menciona en las alternativas propuestas, las bombas que se utilizan en pruebas de integridad, específicamente en pruebas hidrostáticas en tubería, y otros elementos sometidos a presión, presentan la generalidad en su funcionamiento de generar pulsos de presión a medida que se entrega un volumen de fluido al sistema que es presurizado, por tal razón se pensó que la mejor alternativa para eliminar este fenómeno consistía en un movimiento relativamente constante del pistón antes de llegar a la presión de prueba.

Esto se consigue con una transmisión que consta de un tornillo de potencia y una tuerca, donde se restringe el desplazamiento del tornillo y se permite el giro de este mediante el uso de un rodamiento axial y otro radial en contacto con una aleta en el cuerpo del tornillo. A la tuerca se le permite el desplazamiento sobre la hélice de la rosca del tornillo al tener bloqueado la posibilidad de girar sobre su propio eje, esto mediante una cuña anclada a la cámara de bombeo (ver Figura 24).

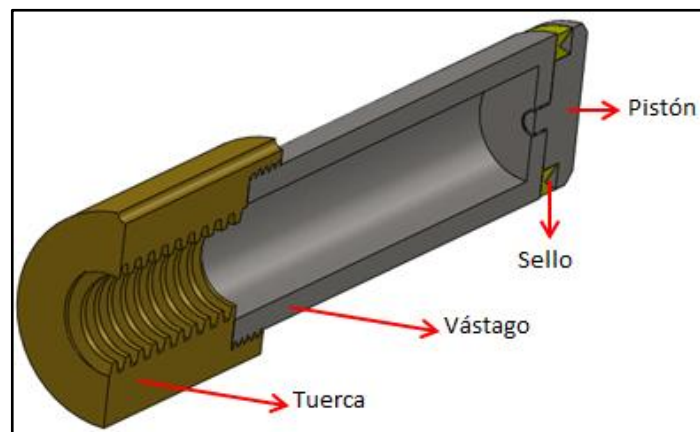
Figura 24. Planteamiento inicial Sistema de Transmisión



Fuente: Los Autores

El movimiento lineal de la tuerca es transmitido al pistón a través de un vástago que es ensamblado en la tuerca, mediante una rosca.

Figura 25. Planteamiento inicial Elemento Presurizador

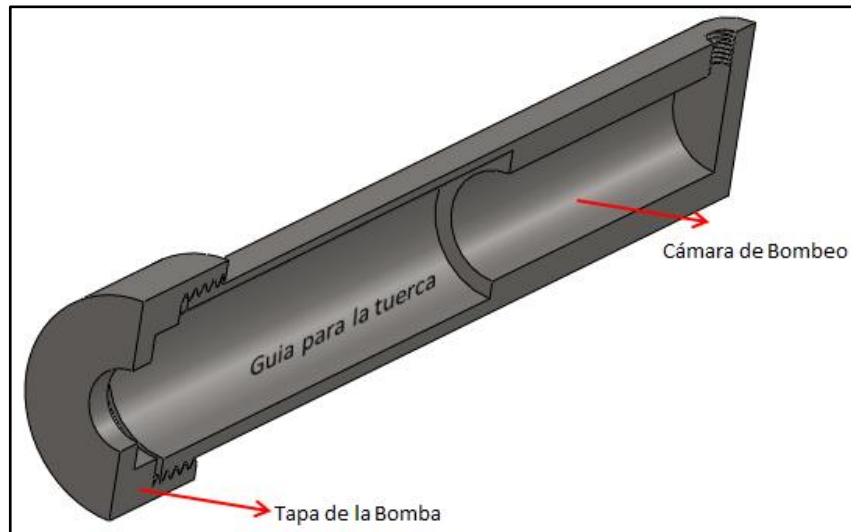


Fuente: Los Autores

- Diseño compacto: Se pretendía que el diseño tuviera el tamaño, materiales y las dimensiones necesarias para soportar el máximo requerimiento de presión, llevando a concebir la idea de generar un sistema fijo, del que no se requiriera mas que un espacio delimitado para su montaje. Esto influyo en la característica

de fijar el tornillo de potencia y permitir mediante un elemento hueco (Vástago), resguardarlo durante las operaciones de succión y descarga. Se ideó de igual manera que el mecanismo interno fuera sellado mediante el ensamble de dos cuerpos (Tapa de la Bomba y Cámara de Bombeo), asemejando en su forma a un cilindro presurizado con variaciones en el diámetro para determinado sitios.

Figura 26. Planteamiento inicial cuerpo de la bomba



Fuente: Los Autores

3. PROCESO DE DISEÑO DE DETALLE

Para el diseño de detalle, se tuvo en cuenta como criterio principal la selección del sello hidráulico. El proceso llevado a cabo se explica detalladamente en los siguientes numerales.

3.1. SELECCIÓN DEL SELLO HIDRÁULICO

El factor crítico para el diseño de la bomba esta en la selección del sello hidráulico debido a los requerimientos de presión de diseño, solicitados para la aplicación en el banco de pruebas hidrostáticas (10000 psi).

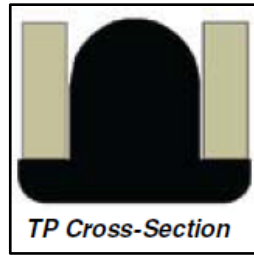
Existen en el mercado variedad de fabricantes que ofrecen diferentes alternativas tanto en dimensiones como en materiales, que permiten alcanzar los requerimientos establecidos por el diseño.

3.1.1. Alternativa 1 sello Parker

Parker es el líder mundial en la fabricación diversificada de tecnologías de movimiento y control, proporcionando soluciones de ingeniería de precisión para una amplia variedad de mercados comerciales, móviles, industriales y aeroespaciales. La ingeniería en sistemas de polímero (EPS), división de Parker en el grupo de sellos, tiene cerca de 40 años de experiencia en el diseño y manufactura de elastómeros, polímeros, sellos plásticos, materiales y sistemas de sellado para aplicaciones dinámicas.

De los modelos presentes en el catalogo “Fluid Power Seal Design Guide” Catalog EPS 5370 Parker, se tomó como opción la serie “TP” donde su diseño compacto proporciona una mayor estabilidad y resistencia a la extrusión para aplicaciones dinámicas en el sellado de fluidos.

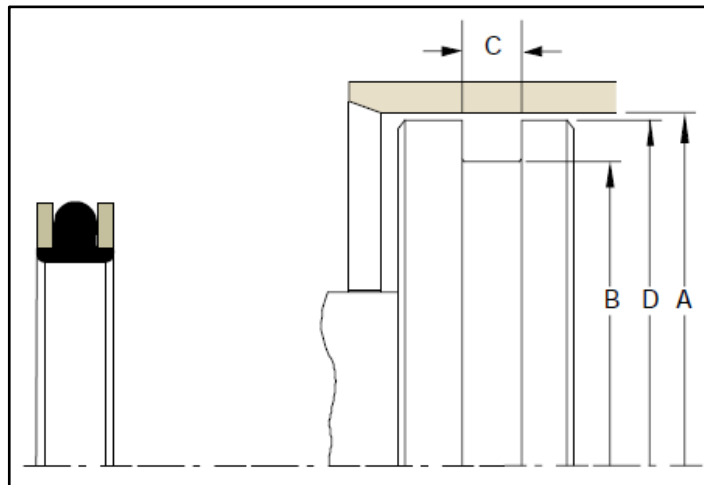
Figura 27. Sello Parker



Fuente: Catálogo Fluid Power Seal Design Guide “Parker”

El material del sello es descrito en el catalogo del fabricante como 75A nitrilo, acompañado de dos anillos laterales de material B085 PEEK, que permite un rango de trabajo de -50 °C a 260 °C manteniendo una presión máxima de 10000 psi.

Figura 28. Sección transversal sello Parker



Fuente: Catálogo Fluid Power Seal Design Guide “Parker”

En la Figura 29 se encuentran las dimensiones correspondientes a la referencia para solicitar la adquisición del sello: 4115 – B085 – TPT – 13, para el cual se deben incluir dos back-up con la siguiente referencia: 4651 – 51 – 2012 - \$KIVE; pues se recomienda su uso en caso de utilizar anillos de desgaste en el pistón.

Figura 29. Dimensiones sello modelo TP Parker

A Bore Diameter	B Groove Diameter	C			D Piston Diameter*	Ref. O-ring Dash Number	Compound Code				Part Number			
		TP0 Groove Width	TPS Groove Width	TPT Groove Width			4115	4274	4205	4259	Compound Code	Back-up Ring Code	Groove Width Code**	Size Code
+0.002/ -0.000	+0.000/ -0.002	+0.005/ -0.000	+0.005/ -0.000	+0.005/ -0.000	+0.000/ -0.001									
0.625	0.383	0.187	0.208	0.275	0.662	204	X		X		XXXX	B0xx	TP0	05
0.687	0.445	0.187	0.208	0.275	0.684	205	X		X		XXXX	B0xx	TP0	06
0.750	0.508	0.187	0.208	0.275	0.747	206	X		X	X	XXXX	B0xx	TP0	07
0.812	0.570	0.187	0.208	0.275	0.809	207	X		X		XXXX	B0xx	TP0	08
0.875	0.633	0.187	0.208	0.275	0.872	208	X		X	X	XXXX	B0xx	TP0	09
0.937	0.695	0.187	0.208	0.275	0.934	209	X				XXXX	B0xx	TP0	10
1.000	0.758	0.187	0.208	0.275	0.997	210	X	X	X	X	XXXX	B0xx	TP0	11
1.062	0.820	0.187	0.208	0.275	1.059	211	X		X	X	XXXX	B0xx	TP0	12
1.125	0.833	0.187	0.208	0.275	1.122	212	X	X	X	X	XXXX	B0xx	TP0	13
1.187	0.945	0.187	0.208	0.275	1.184	213	X		X		XXXX	B0xx	TP0	14
1.250	1.008	0.187	0.208	0.275	1.247	214	X		X		XXXX	B0xx	TP0	15
1.312	1.070	0.187	0.208	0.275	1.309	215	X		X		XXXX	B0xx	TP0	16

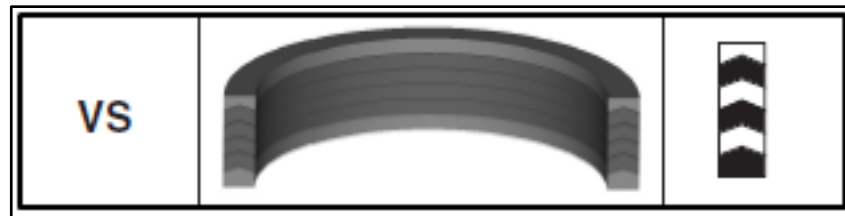
Fuente: Catálogo Fluid Power Seal Design Guide “Parker”

3.1.2. Alternativa 2 sello Hercules

Hercules Sealing Products es distribuidor certificado bajo la norma ISO 9001, de sellos hidráulicos y neumáticos, kit de sellos y componentes para aplicaciones industriales y móviles. Hercules provee sellos para cilindros hidráulicos utilizados en industrias tales como: Equipos de construcción, camiones de descarga y desechos, movimiento de materiales, aplicaciones en plantas industriales, agricultura y equipos forestales.

De los modelos presentes en el catalogo “Hercules Sealing Products”, se tomó como opción la serie “VS” que es un tipo de empaque en “V” con anillo de goma y uretano, junto a un adaptador de Nilón. Este tipo de sello requiere muy poca presión para su ajuste, duran más que los sellos sencillos o de solo un anillo tipo “V” y además son de fácil inserción.

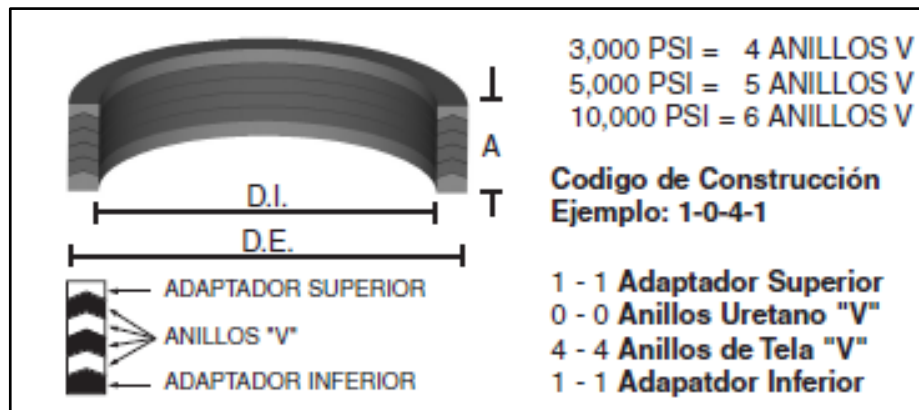
Figura 30. Sello Hercules



Fuente: Catálogo Hercules Sealing Products

El material del sello es descrito en el catalogo del fabricante como una tela de caucho reforzada y anillos de uretano con adaptadores de Nilón a cada uno de sus extremos. Permite un rango de trabajo de -37°C a 104°C manteniendo una presión máxima de 10000 psi.

Figura 31. Capacidad de operación sello Hercules



Fuente: Catálogo Hercules Sealing Products

En la Figura 32 se encuentran las dimensiones correspondientes de la referencia solicitada en la cotización del sello: VS07503X082.

- **Diámetro escogido:** Al tener como requerimiento una presión de 10000 psi, se necesita obtener la menor área transversal del pistón en el sistema, pues la fuerza axial de reacción que se genera por efecto de la presión es directamente proporcional con el área.

Figura 32. Referencia sello Hercules

N° de Parte	Construcción T-U-F-B	D.I.	D.E.	A.	Precio de Lista
VS03703X075	1-0-4-1	3/8	3/4	3/4	\$ 9.90
VS03704X050	1-0-1-1	3/8	7/8	1/2	10.77
VS05003X062	1-0-3-1	1/2	7/8	5/8	5.27
VS05004X075	1-0-3-1	1/2	1	3/4	3.63
VS05004X087	1-0-4-1	1/2	1	7/8	6.42
VS06203X082	1-0-4-1	5/8	1	13/16	6.93
VS06204X100	1-0-5-1	5/8	1-1/8	1	7.34
VS06205X125	1-0-5-1	5/8	1-1/4	1-1/4	12.61
VS07503X075	1-0-3-1	3/4	1-1/8	3/4	8.84
VS07503X082	1-0-6-1	3/4	1-1/8	13/16	11.58
VS07504X100	1-0-5-1	3/4	1-1/4	1	7.34
VS07505X103	1-0-4-1	3/4	1-3/8	1-1/32	6.56
VS07506X112	1-0-3-1	3/4	1-1/2	1-1/8	8.29
VS08104X087	1-0-4-1	13/16	1-5/16	7/8	6.15
VS08703X075	1-0-3-1	7/8	1-1/4	3/4	5.87
VS08704X075	1-0-3-1	7/8	1-3/8	3/4	3.93
VS08704X100	1-0-4-1	7/8	1-3/8	1	7.25

Fuente: Catálogo Hercules Sealing Products

Se concluyó entonces que un diámetro exterior de 1 1/8 in para el sello, permite que la fuerza axial resultante sobre dos elementos fundamentales (Tornillo de potencia y Vástago) sea transmitida sin generar falla en los materiales. Esto se vera mas adelante en el diseño de cada elemento.

Un volumen de 50 cc para la cámara de bombeo es adecuado, debido que un volumen mayor genera que la cámara sea mas profunda, excediendo la capacidad de maquinar la superficie interna con las herramientas que cuenta actualmente el laboratorio de CNC del SENA; igualmente influye de manera negativa en un tamaño apropiado para un fácil transporte de este dispositivo, llegando así a no cumplir uno de los requerimientos propuestos por el centro de investigación “DICBOT”.

3.1.3. Selección de alternativa

Después de analizar las propuestas de estos dos fabricantes, en primera instancia se consideró realizar el pedido con “Parker”, siendo el valor para cada sello de

\$35.000.00 pesos Colombianos, con un mínimo de 100 unidades. Esto fue informado por el proveedor al cabo de 3 semanas de solicitar la cotización.

Teniendo en cuenta lo anterior se optó por la alternativa dos, donde el proveedor “AMM Distribuciones Ltda.” está en la capacidad de importarlos en pequeñas unidades, en este caso 3 unidades con un valor de \$ 27.600.00 C/U pesos colombianos.

Figura 33. Sello Hercules



Fuente: Los Autores

3.1.4. Selección de las guías de desgaste

Determinado el proveedor y fabricante del sello hidráulico, se continuó con la selección de las guías de desgaste obtenidas del catálogo “Hercules Sealing Products”, teniendo en cuenta que debía escoger un espesor y ancho mínimo para no influir en concentradores de esfuerzos en el conjunto del pistón.

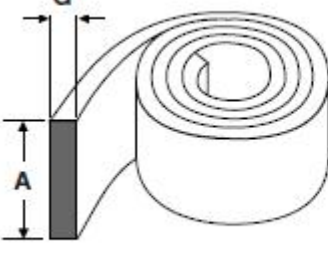
Se optó por el cojinete de guía flexible con relleno “PTFE”, donde el material puede cortarse a cualquier longitud para ajustarse al diámetro que se requiera sin perder su concentricidad. Este tipo de guía es utilizada en aplicaciones donde su

posición impide que sea lubricada por el fluido de trabajo. Se dispone en el elemento denominado Pistón.

Este tipo de guía flexible contiene un 40% de bronce en el relleno “PTFE” alcanzando rangos de temperatura entre los -46°C – 204°C , con la capacidad de soportar fuerzas extensivas de 2100 psi y fuerzas compresivas de 1500 psi.

A continuación se muestra el perfil de la guía de referencia “606T-025”:

Figura 34. Guía flexible de desgaste



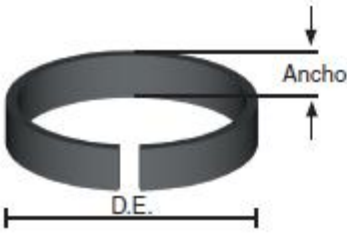
Nº de Parte	A Ancho	G Grosor	Relleno	Precio de Lista
606T-025	1/4	1/16	Bronze	\$ 10.04
606T-037	3/8	1/16	Bronze	10.71
606T-050	1/2	1/16	Bronze	11.31
606T-062	5/8	1/16	Bronze	8.72
606T-075	3/4	1/16	Bronze	12.50

Fuente: Catálogo Hercules Sealing Products

La selección de estas guías estuvo sujeta a la geometría obtenida en el proceso de diseño del conjunto pistón. Debido a este proceso se requirió disponer de otra guía, que por cuestión de su ubicación y alta presión a la que está sometida debe contar con unas propiedades mecánicas superiores a la mencionada anteriormente. Se seleccionó entonces en el catálogo “Hercules Sealing Products”, la banda de desgaste de Nilón estilo “606” con 1/16 in de grosor cuyas propiedades le permiten trabajar en temperaturas entre los -40°C – 121°C , con la capacidad de soportar fuerzas extensivas de 27000 psi y fuerzas compresivas de 26000 psi.

A continuación se muestra el perfil de la guía de referencia “606-112-050”:

Figura 35. Guía fija de desgaste

	N° de Parte	D.E.	Ancho	Precio de Lista
	606-087-050	7/8	1/2	\$ 8.30
	606-112-050	1-1/8	1/2	5.09
	606-125-050-SC	1-1/4	1/2	9.45
	606-125-075-SC	1 1/4	3/4	8.75
	606-137-050	1-3/8	1/2	6.63

Fuente: Catálogo Hercules Sealing Products

3.2. DISEÑO DEL MECANISMO DE TRANSMISIÓN DE POTENCIA

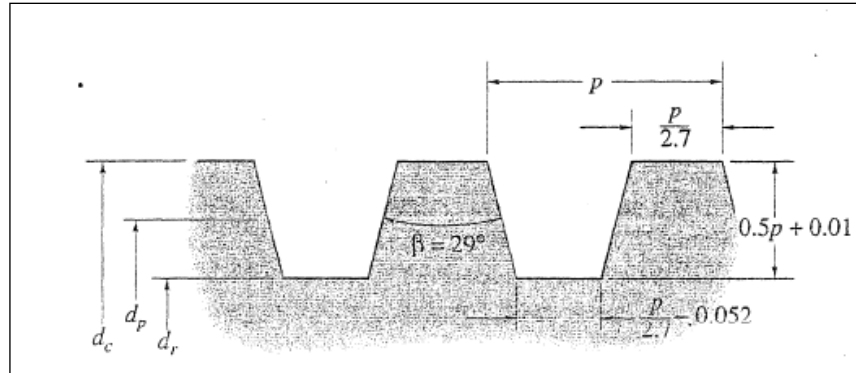
En ingeniería mecánica se denomina tornillo sinfín y en este caso tornillo de potencia, siendo un dispositivo utilizado para cambiar el movimiento angular por movimiento lineal y usualmente para transmitir potencia. Cada vez que el tornillo de potencia da una vuelta completa, el engranaje (tuerca) avanza un diente. Con el tornillo de potencia y una rueda dentada podemos igualmente transmitir fuerza y movimiento entre ejes perpendiculares.

Características:

- Relaciones de transmisión altas
- Para ejercer fuerzas de gran magnitud, como en los compactadores caseros o en una prensa.
- Para obtener un posicionamiento preciso de un movimiento axial.
- Solo permite el movimiento del tornillo a la rueda dentada, bloqueándolo a la inversa, lo cual es de gran utilidad como medida de seguridad en ciertos mecanismos como por ejemplo en los ascensores.

En los tornillos de potencia se usa el perfil de rosca ACME el cual se ilustra en la Figura 36. El ángulo de rosca es de 29° y sus dimensiones se pueden determinar fácilmente una vez se conoce el paso.

Figura 36. Dimensiones rosca ACME



Fuente: Extraída de Elementos de Máquinas Bernard J. Hamrock

3.2.1. Diseño del tornillo de potencia ACME

Para el diseño el parámetro principal que se tuvo en cuenta fue el diámetro del sello, debido a que esta directamente relacionado con el área transversal del pistón, que en conjunto con la presión en la cámara de bombeo se traduce en una fuerza axial (Fuerza = Presión x Área) y un torque sobre los filetes del tornillo de potencia.

Se planteó inicialmente predecir la falla del tornillo de potencia por carga cíclica, previendo en el futuro implementar un motor-reductor que supere las expectativas como dispositivo manual; sin embargo la característica actual del diseño de la bomba es elevar presión y mantenerla durante un determinado tiempo, con movimientos rotativos del tornillo que dependen de la habilidad del operario, por tal razón es acertado en el momento predecir la falla por carga estática.

3.2.1.1. Predicción de falla por carga cíclica.

– Diagrama de cuerpo libre: a continuación se presentan las cargas que actúan sobre la superficie del tornillo, resumidas en una carga axial y un torque resultante para mantener la presión alcanzada en el sistema, teniendo en cuenta que para los cálculos se toman los parámetros de presión de diseño (10000 psi)

Figura 37. Diagrama de cuerpo libre Tornillo de Potencia



Fuente: Los Autores

- Parámetros geométricos del tornillo: de la tabla que se muestra a continuación se escoje un diametro nominal, que será evaluado en las ecuaciones hasta llegar a obtener un factor de seguridad apropiado (se recomienda como mínimo $F_s = 1.2$ para análisis en carga cíclica).

Tabla 4. Dimensiones Tornillo de potencia ACME

TAMAÑO NOMINAL	HILOS POR PULGADA	ALTURA BASICA DEL DIENTE	DIAMETRO MAYOR	ANGULO DE HÉLICE EN EL dm
	Ne	h	do	α
1/4	16	0.03125	0.2500	5° 12′
5/16	14	0.03571	0.3125	4° 42′
3/8	12	0.04167	0.3750	4° 33′
7/16	12	0.04167	0.4375	3° 50′
1/2	10	0.05000	0.5000	4° 3′
5/8	8	0.06250	0.6250	4° 3′
3/4	6	0.08330	0.7500	4° 33′
7/8	6	0.08333	0.8750	3° 50′
1	5	0.10000	1.0000	4° 3′
1-1/8	5	0.10000	1.1250	3° 33′
1-1/4	5	0.10000	1.2500	3° 10′
1-3/8	4	0.12500	1.3750	3° 39′
1-1/2	4	0.12500	1.5000	3° 19′
1-3/4	4	0.12500	1.7500	2° 48′
2	4	0.12500	2.0000	2° 26′
2-1/4	3	0.16667	2.2500	2° 55′
2-1/2	3	0.16667	2.5000	2° 36′
2-3/4	3	0.16667	2.7500	2° 21′

3	2	0.25000	3.0000	3° 19'
3-1/2	2	0.25000	3.5000	2° 48'
4	2	0.25000	4.0000	2° 26'
4-1/2	2	0.25000	4.5000	2° 8'
5	2	0.25000	5.0000	1° 55'

Fuente: Módulo de Tornillos de Potencia. Ing. Alfredo Parada Corrales

$$\begin{aligned}
 N_e &= 8; & h &= 0.0625; & d_o &= 0.625; \\
 \alpha &= 4.05; & \Theta &= 14.5; & \cos \Theta &= 0.96815; \\
 \cos \alpha &= 0.99750 & \tan \alpha &= 0.07080 & P &= 0.125 \text{ in}
 \end{aligned}$$

L = Largo del tornillo

L = carrera del pistón + longitud supuesta.

La longitud supuesta corresponde a espesores aun no conocidos de los rodamientos que van sobre el tornillo de potencia y otros factores como la altura de la tuerca; calculada mas adelante. Como no se conocen estos valores se supone una longitud de 5.05 in aproximadamente.

La carrera del pistón se obtiene del volumen propuesto para la cámara de bombeo ($V = 50 \text{ cc} = 3.07 \text{ in}^3$) y el área del pistón (determinada por el diámetro exterior del sello escogido $D_o = 1 \frac{1}{8} \text{ in}$).

$$\text{carrera del piston} = \frac{V}{D_o^2 \times \left(\frac{\pi}{4}\right)} = 3.07 \text{ in}$$

$$L = \text{carrera del pistón} + \text{longitud supuesta} = 8.12 \text{ in}$$

$$d_m = d_o - h = 0.5625 \text{ in}$$

$$d_r = d_o - 2h = 0.5 \text{ in}$$

– Cálculo del coeficiente de fricción estático del tornillo con la tuerca, el cual se obtiene de la siguiente tabla.

Tabla 5. Coeficiente de fricción Tornillo - Tuerca

Tuerca Tornillo	ACERO	LATÓN	BRONCE	FUNDICION
Acero (seco)	0.15-0.25	0.15-0.23	0.15-0.19	0.15-0.25
Acero (lubricado)	0.1-0.17	0.1-0.16	0.07-0.15	0.08-0.17
Bronce (lubricado)	0.15-0.19	0.04-0.6	----	0.06-0.09

Fuente: Módulo de Tornillos de potencia. Ing. Alfredo Parada Corrales

$$F_s = 1.33 * F_{dinamico} = 1.33 * 0.15$$

$F_s = 0.1995$ teniendo en cuenta que la tuerca sea en acero y con lubricación.

- Cálculo del coeficiente de fricción del collarín con el tornillo, el cual se obtiene de la siguiente tabla.

Tabla 6. Factor de fricción en rodamientos

TIPO DE RODAMIENTO	ESTATICO		DINAMICO	
	RADIAL	AXIAL	RADIAL	AXIAL
Radial de bolas	0.0025	0.0060	0.0015	0.0040
Mixto de bolas con contacto angular	0.0025	0.0050	0.0015	0.0030
Radiales de bola y rodillos a rotula.	0.0030	0.0120	0.0018	0.0080
Mixto de rodillos cónicos	0.0030	0.0120	0.0018	0.0080
Radial de rodillos cilíndricos	0.0020	0.050	0.0011	0.0035
Axial de bolas	---	0.0025	---	0.0015
Axial de rodillos a rótula	---	0.0030	---	0.0018
Axiales de rodillos cónicos y cilindricos	---	0.0020	---	0.0011

Fuente: Módulo de Tornillos de potencia. Ing. Alfredo Parada Corrales

Se tomó como $F_c = 0.0020$ que es para un tipo de rodamiento de rodillos cilíndricos adecuado para soportar cargas axiales. El diámetro medio del collarín se asume en un valor aproximado acorde con los rodamientos que se puedan encontrar en el mercado, $d_{mc} = 1.4$ in

- Cálculo del torque de subida.

$$T_s = \frac{d_m \times W}{2} \times \left[\frac{F_s + \cos \theta \times \tan \alpha}{\cos \theta - F_s \times \tan \alpha} \right] + \frac{d_{mc} \times F_c \times W}{2}$$

$$W = \text{presión} \times \text{area} = 10000 \times \frac{\pi \times d^2}{4}; d = 1.125 \text{ in}$$

$$W = 9940.2 \text{ lbs}$$

$$T_s = 799.4 \text{ lb} - \text{in}$$

- Cálculo del torque de bajada.

$$T_s = \frac{d_m \times W}{2} \times \left[\frac{F_s - \cos \theta \times \tan \alpha}{\cos \theta + F_s \times \tan \alpha} \right] + \frac{d_{mc} \times F_c \times W}{2}$$

$T_s = 0$; se asume aproximadamente cero, debido a que en la etapa de succión la presión interna en la cámara de bombeo es aproximadamente la atmosférica y las únicas cargas presentes es la inercia y fricción de los elementos móviles (sello, tuerca y tornillo).

- Cálculo del torque máximo (Tmax) y el torque mínimo (Tmin).

$$T_{max} = T_s = 799.4 \text{ lb} - \text{in}$$

$$T_{min} = 0$$

- Cálculo del torque alternativo (Ta) y del torque medio (Tm).

$$T_m = \frac{T_{max} + T_{min}}{2}$$

$$T_m = 799.4 \text{ lb} - \text{in}$$

$$T_a = \frac{T_{max} - T_{min}}{2}$$

$$T_a = 799.4 \text{ lb} - \text{in}$$

- Cálculo del esfuerzo cortante alternativo (T_a) y del esfuerzo cortante medio (T_m).

$$\tau_a = \frac{16 \times T_a}{\pi \times d_{eq}^3}; d_{eq} = \text{diametro equivalente}$$

$$d_{eq} = \frac{d_r + d_m}{2} = 0.53125 \text{ in}$$

$$\tau_a = 13577.272 \text{ psi}$$

$$\tau_a = \frac{16 \times T_m}{\pi \times d_{eq}^3}$$

$$\tau_a = 13577.272 \text{ psi}$$

- Búsqueda de los esfuerzos axiales.

Por ser un elemento con una longitud mucho mayor que su diámetro nominal, su comportamiento bajo carga axial debe ser evaluado como columna.

K = radio de giro;

$$K = \frac{d_{eq}}{4} = 0.1328 \text{ in}$$

$l_{eq} = \mu \times L$; μ = condición de columna (ver Figura 39)

Se propuso el valor de $\mu = 0.5$ correspondiente a una condición fija-fija, pues el tornillo es sujetado en ambos extremos por superficies de otros elementos. La figura 38 permite visualizar esta situación.

$$l_{eq} = \mu \times L$$

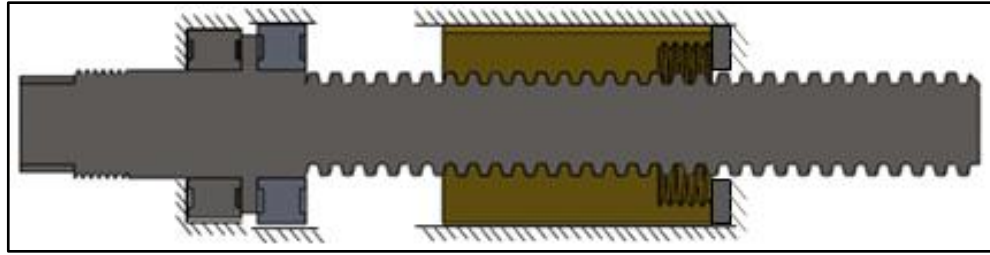
$$l_{eq} = 4.06 \text{ in}$$

S_r = razón de esbeltez

$S_r < 10$; se realiza el análisis como columna corta

$S_r > 10$; se realiza el análisis como columna larga

Figura 38. Condiciones de columna del tornillo



Fuente: Los Autores

$$S_r = \frac{l_{eq}}{K}$$

Figura 39. Condiciones de apoyo para Columnas

Descripción de la condición de los extremos	Ambos extremos articulados	Un extremo articulado y el otro fijo	Ambos extremos fijos	Un extremo fijo y el otro libre
Ilustración de la condición de los extremos				
Longitud teórica efectiva de la columna	$l_e = l$	$l_e = 0.7l$	$l_e = 0.5l$	$l_e = 2l$
Longitud efectiva de la columna recomendada AISC (1989)	$l_e = l$	$l_e = 0.8l$	$l_e = 0.65l$	$l_e = 2.1l$

Fuente: Extraída de Elementos de máquina Bernard J. Hamrock

$S_r = 30.569 > 10$, se debe analizar el tornillo como columna larga.

Se utiliza la ecuación de la secante cuadrada para hallar el esfuerzo axial en el tornillo.

$$\sigma = \frac{W}{A_{eq}} \times \left[1 + \frac{L \times r_{eq}}{400 \times K^2} \times \sec \left(\left(\frac{\mu \times L}{K} \right) \times \sqrt{\frac{W}{4 \times E \times A_{eq}}} \right) \right]$$

$$A_{eq} = \frac{\pi}{4} \times d_{eq}^2 = 0.2217 \text{ in}^2$$

$$E = 30 \times 10^6 \text{ psi}$$

$\sigma = -61352.519 \text{ psi}$; el signo se debe a que el tornillo trabaja a compresión.

– Cálculo del esfuerzo axial alternativo (σ_a) y del esfuerzo axial medio (σ_m).

$$\sigma_{min} = -61352.519 \text{ psi}$$

$\sigma_{max} = 0$; se considera que no hay carga debido a que éste es un esfuerzo producto de la succión de la bomba, que ocurre aproximadamente a presión atmosférica.

$$\sigma_a = \frac{\sigma_{max} - \sigma_{min}}{2} = 30676.26 \text{ psi}$$

$$\sigma_m = \frac{\sigma_{max} + \sigma_{min}}{2} = -30676.26 \text{ psi}$$

– Cálculo del límite real de resistencia a la fatiga (S_e'')

S_e = límite de resistencia a la fatiga.

$$S_e'' = S_e \times K_L \times K_C \times K_d \times K_s \times K_T \times K_m$$

El material definido para este elemento es Acero AISI 4140, que es un acero al medio carbono aleado con cromo y molibdeno de alta templabilidad y buena resistencia a la fatiga, abrasión e impacto. se usa para piñones pequeños, tñjeras, tornillos de alta resistencia, espárragos, guías, seguidores de leva, ejes reductores, cinceles.

Tiene una resistencia a la fluencia de $S_y = 60000$ psi, y una resistencia última de $S_{ut} = 95000$ psi.

Las propiedades mecánicas del material no permiten soportar la carga axial sobre el tornillo, por tal razón fue necesario realizar un tratamiento térmico echo por la empresa IMATT S.A.S, que consiste en un templeado en aceite seguido de un revenido, alcanzando según las tablas en el anexo B un $S_y = 240000$ psi y $S_{ut} = 270000$ psi.

Para determinar los factores que afectan el límite de resistencia a la fatiga se tomó como guía, el “Módulo de Fatiga por Medio de Fisura Progresiva” del Ingeniero Mecánico Alfredo Parada Corrales.

Factor de carga axial (K_L)

El factor de seguridad es calculado mediante la teoría de Misses-Goodman que trabaja con S_{ut} y S_e para un K_L axial. Si son cargas simples o combinadas que produzcan esfuerzos repetitivos, donde el esfuerzo medio es menor que 0.5 del esfuerzo alterno se puede asumir:

$$K_L = 1.2$$

Factor de confiabilidad (K_c)

Este factor es un indicador de que tanto se desconfía del diseño, por tal razón una confiabilidad del 90% revela que hay un 10% de confianza en el funcionamiento correcto del diseño. Se asume entonces una confiabilidad de 90% resultando en el siguiente factor:

$$K_c = 0.897$$

Factor de tamaño (K_d)

Como el tornillo esta sometido a carga axial pura se tiene:

$$K_d = 1$$

Factor de acabado superficial (Ks)

Se utiliza una expresión obtenida del libro “Diseño de Máquinas” de Robert L Norton, que describe el comportamiento de este factor dependiendo el tipo de mecanizado (rectificado) y la resistencia última a la tracción ($S_{ut} = 270000$ psi). Ésto debido a que es relativamente mas práctico que obtenerlo de gráficas.

$$K_s = A \times S_{ut}^b$$

Tabla 7. Coeficientes para la ecuación de factor superficial

Acabado superficial	MPa		Kpsi	
	A	b	A	b
Rectificado	1.58	-0.085	1.34	-0.085
Maquinado o estirado en frio	4.51	-0.0265	2.7	-0.265
Rolado en caliente	57.7	-0.718	14.4	-0.718
Forjado	272	-0.995	39.9	-0.995

Fuente: Extraído del libro Diseño de Maquinas de Robert L. Norton

El proceso de manufactura del tornillo de potencia se realizo en un torno CNC de tres ejes, el cual permite por sus características y la herramienta de metal duro que se utiliza, obtener una superficie con un acabado muy fino. Se halla entonces el factor con los valores correspondientes al rectificado como acabado superficial $K_s = 0.832$

Factor de temperatura (K_T)

La aplicación a la que ha sido enfocado el diseño de la bomba, no requiere elevar ni disminuir la temperatura del fluido de trabajo, solo se ve afectado por las condiciones del medio que lo rodea (usualmente la temperatura del medio ambiente).

$$K_T = 1; \text{ si } 0^\circ\text{C} < \text{Temperatura} < 71^\circ\text{C}$$

Factor micelaneo (K_m)

Es un factor producto de los procesos de fabricación y metalúrgicos. Para el caso es de importancia el factor que tiene que ver con el endurecimiento superficial, al haber realizado un templeado en aceite. Según la bibliografía se puede considerar de 1.8 a 3.3; siendo conservativos se toma un valor aproximado de:

$$K_m = 1.8$$

Se puede considerar que el límite de resistencia a la fatiga de los aceros para una vida infinita (10^6 ciclos) es:

Si $S_{ut} > 200000$ psi, entonces $S_e = 100000$ psi.

Si $S_{ut} \leq 200000$ psi, entonces $S_e = 0.5 S_{ut}$

Para el caso del acero AISI 4140 después de haber realizado el tratamiento ($S_{ut} = 270000$ psi), el límite de resistencia a la fatiga es: $S_e = 100000$ psi.

Aplicando los factores que afectan este límite; se obtiene el límite real de resistencia a la fatiga.

$$S_e'' = S_e \times K_L \times K_C \times K_d \times K_s \times K_T \times K_m$$

$$S_e'' = 161318.833 \text{ psi}$$

– Selección del factor de concentración de esfuerzos dinámicos axiales o flectores (K_f) y del factor de concentración de esfuerzos dinámicos torsionales (K_{fs}). De la tabla que se presenta a continuación se determinan los valores respectivos de cada factor.

Tabla 8. Valores de K_f y K_{fs}

Tipo de acabado	RECOCIDA		ENDURECIDA	
	Laminada	Maquinada	Laminada	Rectificada
K_f	2.2	2.8	3.0	3.8
K_{fs}	2.0	2.4	2.6	3.2

Fuente: Módulo de Tornillos de potencia. Ing. Alfredo Parada Corrales

$$K_f = 3.8$$

$$K_{fs} = 3.2$$

- Cálculo del factor de seguridad según la teoría de Misses-Goodman

$$\frac{1}{N} = \left[\left(\frac{\sigma_m}{S_{ut}} + K_f \times \frac{\sigma_a}{S_e} \right)^2 + 3 \times \left(\frac{\tau_m}{S_{ut}} + K_{fs} \times \frac{\tau_a}{S_e} \right)^2 \right]^{1/2}$$

$$N = 1.215$$

Se recomienda en el “Módulo de Fatiga por Medio de Fisura Progresiva”, que el valor mínimo sea $1.2 < N < 1.6$ para bajo ciclaje, estando el cálculo para un diámetro del tornillo de 5/8 in, entre el rango permitido para no presentar falla por fatiga.

Como el valor es bastante cercano al límite inferior sugerido para este análisis, es posible considerar que el tornillo falle con el tiempo, sin embargo la carga máxima de 10000 psi para la aplicación a que ha sido enfocado su diseño (prueba de integridad en tuberías petroleras) es poco probable que se presente. Sumado a esto, el mecanismo que permite la rotación del tornillo es manual, dependiendo de la rapidez con que el operario ejerza el movimiento (proceso cuasiestático).

3.2.1.2. Predicción de falla por carga estática

- **Análisis por aplastamiento:** esta falla se puede presentar si la fuerza de reacción axial que se produce por la presión en la cámara de bombeo, no la soporta el material del tornillo.

Figura 40. Carga axial sobre el tornillo



Fuente: Los Autores

$$F = P \times A_{eq}$$

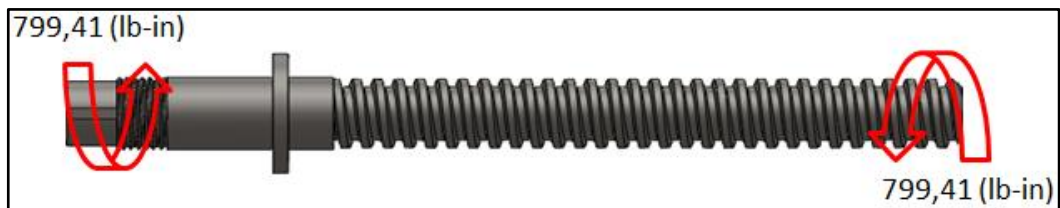
Tabla 9. Datos Análisis de falla por aplastamiento

Variables		
Fuerza (lb)		9940,2
deq (in)		0,53125
Aeq (pulg^2)		0,22166022
Sy (psi)		240000
Resultados		
σ (Psi)	F/Aeq	44844,3109
N	Sy/ σ	5,35184943

Fuente: Los Autores

– **Análisis de falla por torsión:**

Figura 41. Torque ejercido sobre el Tornillo de Potencia



Fuente: Los autores

Figura 42. Análisis de falla por torsión

Variables	
T (lb-pulg)	799,41
J (in^4)	0,0078198
Sy (psi)	240000
c (in)	0,265625
Resultados	

τ (Psi)	T^*c/J	27154,5655
τ_{perm}	$S_y/2$	120000
N	τ_{perm}/τ	4,41914639

Fuente: Los Autores

– **Análisis de falla por columna:**

Del análisis hecho para la búsqueda de los esfuerzos axiales para la predicción de falla por carga cíclica, se toma el mismo valor de compresión producto de la ecuación de la secante para columnas con carga centrada.

$$\sigma = \frac{W}{A_{eq}} \times \left[1 + \frac{L \times r_{eq}}{400 \times K^2} \times \sec \left(\left(\frac{\mu \times L}{K} \right) \times \sqrt{\frac{W}{4 \times E \times A_{eq}}} \right) \right]$$

Figura 43. Carga sobre el Tornillo de Potencia actuando como Columna



Fuente: Los Autores

$\sigma = -61352.519 \text{ psi}$; el signo se debe a que el tornillo trabaja a compresión.

Para hallar el factor de seguridad se debe primero suponer el esfuerzo de fluencia crítico (σ_{wcr}), como el esfuerzo de fluencia del material. De esta manera se realiza un proceso iterativo variando la carga crítica, hasta obtener un valor del esfuerzo de fluencia crítico calculado (S_{yc}) aproximado al límite de fluencia del material (S_y), tomando un porcentaje de error máximo hasta del 2%.

$$\sigma_{wcr} = S_{yc} = \frac{P_{cr}}{A_{cr}} \times \left[1 + \frac{L \times r_{eq}}{400 \times K^2} \times \sec \left(\left(\frac{\mu \times L}{K} \right) \times \sqrt{\frac{W}{4 \times E \times A_{cr}}} \right) \right]$$

$$A_{cr} = A_{eq}$$

El proceso iterativo concluyó con los siguientes valores:

$$P_{cr} = 32444.735 \text{ Lb}$$

$$\sigma_{wcr} = 239999.9881 \text{ psi; valor calculado aumentando } P_{cr}$$

$$S_y = 240000 \text{ psi}$$

$$\%Error = \left| \frac{Valor_{teórico} - Valor_{real}}{Valor_{teórico}} \times 100 \right|$$

$$\%Error = 4.95 \times 10^{-6}$$

Conocidos los valores de carga crítica (P_{cr}) y del esfuerzo de trabajo (σ), se realiza el cálculo del factor de seguridad:

$$N_1 = \frac{P_{cr}}{W}$$

$$N_1 = 3.264$$

$$N_2 = \frac{S_y}{\sigma}$$

$$N_2 = 3.91$$

Se toma como factor de seguridad $N = 3.264$.

– **Análisis del filete del tornillo como viga:**

P_n = carga normal sobre el diente

P_t = componente tangencial de la carga al diente

P_r = componente radial de la carga al diente

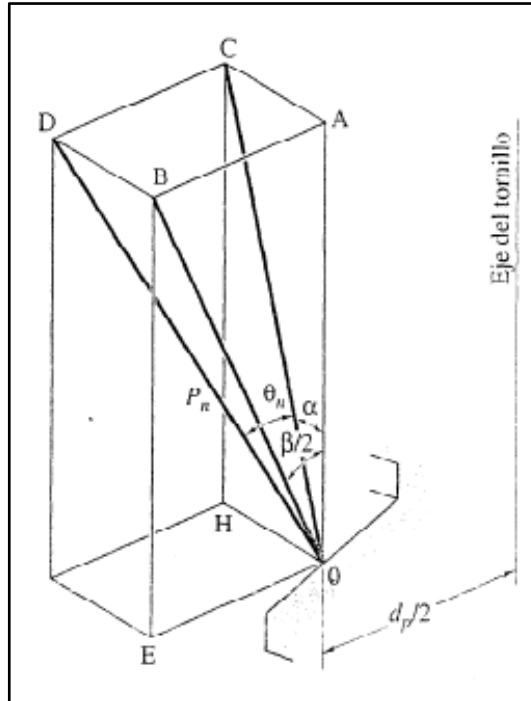
Θ_n = Componente que se crea por la fuerza normal P_n para la diagonal del diente como se muestra en la Figura 44

α = Ángulo de avance

β = Ángulo de la rosca

μ = Factor de fricción entre las roscas

Figura 44. Fuerzas que actúan sobre el diente del Tornillo



Fuente: Extraída de Elementos de máquina Bernard J. Hamrock

$$\Theta_n = 14.5^\circ$$

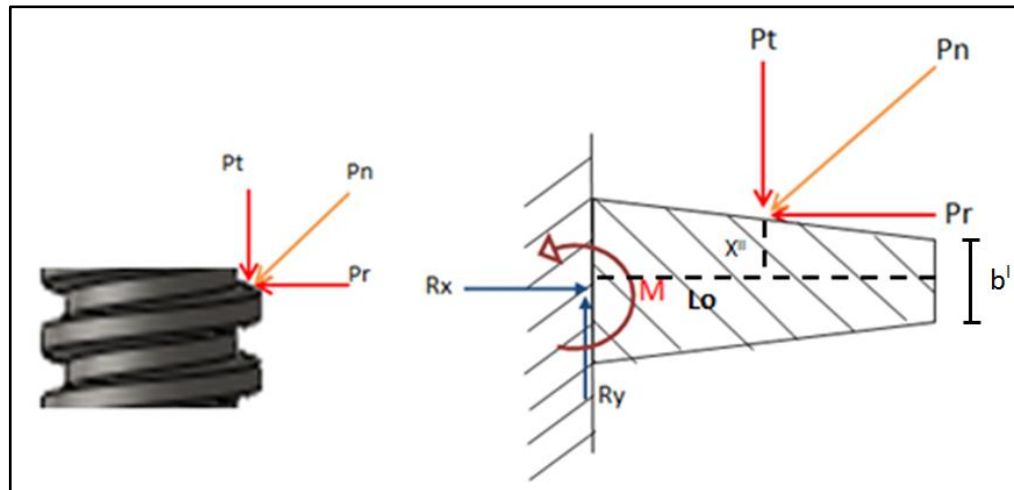
$$\alpha = 4.05^\circ$$

$$\beta = 29^\circ$$

$$\mu = 0.1995$$

Cálculo de las reacciones del diagrama de cuerpo libre:

Figura 45. Diagrama de cuerpo libre diente del Tornillo



Fuente: Los Autores

$$P_n = \frac{W}{\cos\theta_n \times \cos\alpha - \mu \times \text{sen}\alpha}$$

$$P_n = 10445.34 \text{ Lb}$$

$$R_y = P_t$$

$$R_y = P_n \cos\theta_n \times \cos\alpha$$

$$R_y = 10087.38 \text{ Lb}$$

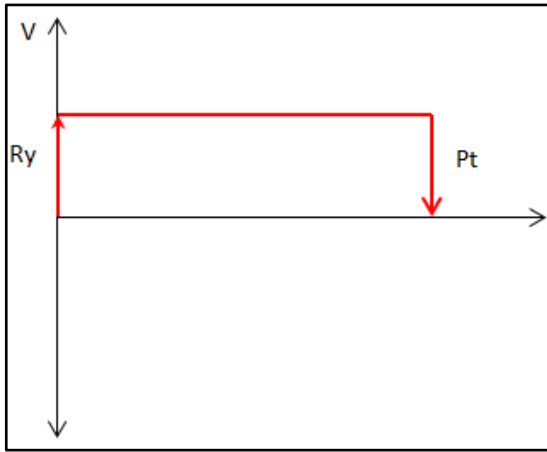
$$R_x = P_r$$

$$R_x = P_n \cos\theta_n \times \cos\alpha \times \tan\frac{\beta}{2}$$

$$R_x = 2608.772 \text{ Lb}$$

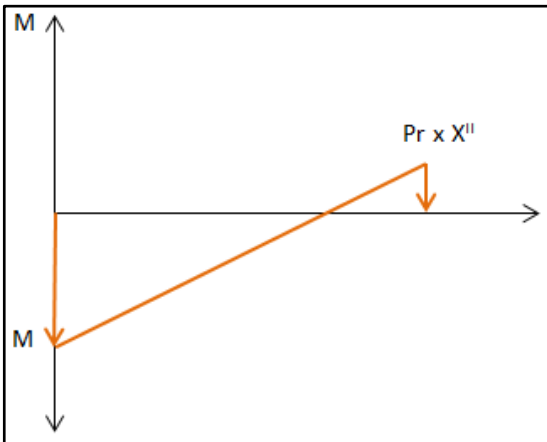
$$M = P_t \times L_o - P_r \times X''$$

Figura 46. Digrama de Fuerza cortante



Fuente: Los autores

Figura 47. Diagrama de Momento flector



Fuente: Los Autores

$$Lo = \frac{dm - dr}{2}$$

$$b' = Paso - 1.26 \times h$$

$$Lo = 0.03125 \text{ in}$$

$$b' = 0.04625 \text{ in}$$

$$X'' = \frac{b'}{2} + \frac{h}{2} \times \tan \frac{\beta}{2}$$

$$X'' = 0.03121 \text{ in}$$

$$M = 233.82 \text{ Lb-in}$$

Como la sección transversal del diente del tornillo varía a lo largo de la altura del diente, puede presentarse que el esfuerzo máximo no ocurra en el diámetro de raíz del diente. Se realizó el siguiente procedimiento para corroborar en que posición de la sección trasversal del diente se presenta el esfuerzo máximo.

De la geometría de un corte transversal del diente se obtiene como varía el momento flector y la altura del diente a medida que se avanza del diametro medio al diámetro de raíz.

$$M = - (10087.37508 X - 81.41)$$

$$h = 0.0624136 + 0.517235 X$$

$$\sigma = \frac{Mc}{I} = \frac{6M}{base \times altura^2} = \frac{6 \times (-10087.37508 X + 81.41)}{22.19 \times (0.0624136 + 0.517235 X)^2}$$

Al derivar la ecuación con respecto a "X" e igualando a cero se obtiene la posición para la cual el momento es máximo.

$$X = 0.1368 \text{ in}$$

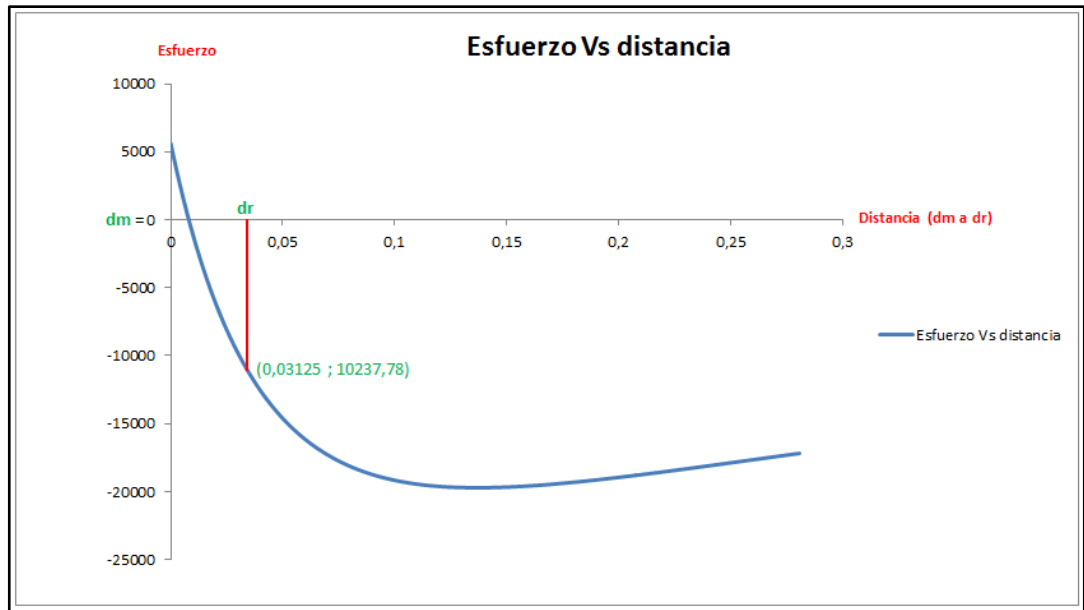
Esto quiere decir que el esfuerzo producido por el mayor momento flector se presenta en el diámetro de raíz, pues la distancia del punto de referencia (dm) al diámetro de raíz (dr) es tan solo $X = 0.03125 \text{ in}$.

Evaluando la ecuación en $X = 0.03125$ el esfuerzo equivale a:

$$\sigma = 10237.078 \text{ psi}$$

a continuación se muestra la gráfica esfuerzo Vs distancia a lo largo de la sección trasversal desde donde se aplica la carga (dm) al diámetro de raíz del diente (dr).

Figura 48. Curva Esfuerzo Vs Distancia



Fuente: Los Autores

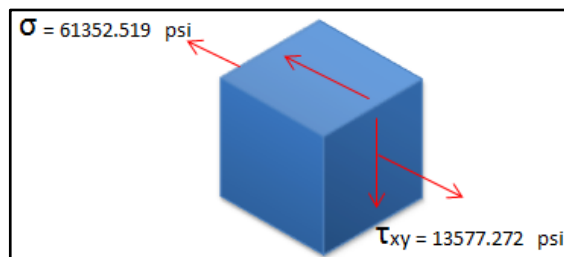
El factor de seguridad para el análisis del filete de la rosca actuando como viga es el siguiente:

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

$$N = 23.4$$

- **Análisis por carga combinada:** Para este análisis se supone el tornillo como una barra cilíndrica de diámetro igual al diámetro equivalente (d_{eq})

Figura 49. Carga Combinada



Fuente: Los Autores

$$\sigma_{eq} = (\sigma_x^2 + 3\tau_{xy}^2)^{1/2}$$

$$\sigma_{eq} = 65705.088 \text{ psi}$$

$$N = \frac{Se''}{\sigma_{alt}}$$

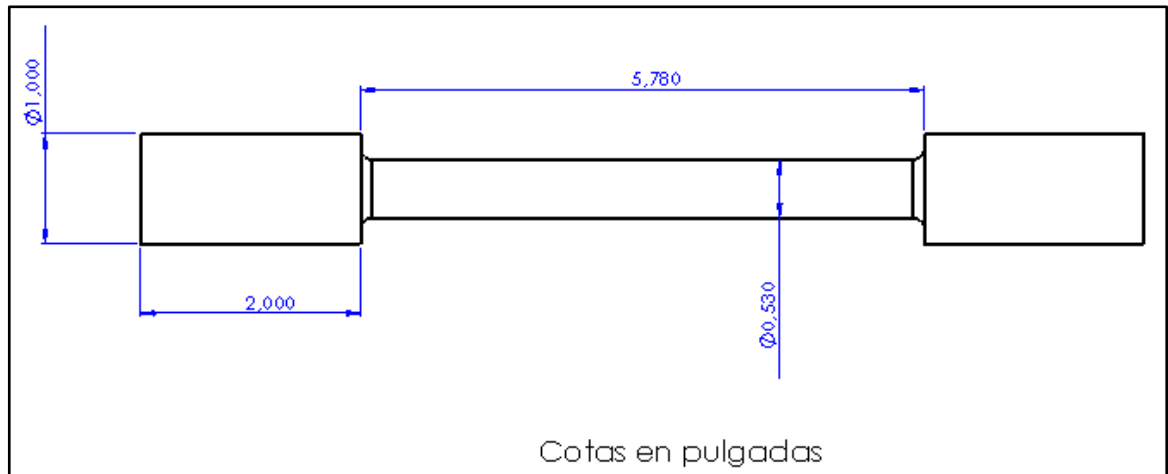
$$N = 2.455$$

Se puede concluir que el diseño para el tornillo es seguro, debido a que todos los factores de seguridad en el análisis estático fueron superiores a 1.5, tomando como base que el diseño se considera seguro para factores superiores a 1.2.

3.2.1.3. Análisis experimental mediante ensayo a compresión

Para comprobar experimentalmente que el tratamiento térmico realizado al acero, cumpliera con resistir la carga aplicada sin presentar pandeo, se construyó una probeta con las siguientes dimensiones normalizadas:

Figura 50. Dimensiones Probeta



Fuente: Los autores

Las dimensiones simplifican la geometría de la sección roscada del tornillo, pues aun no se conocía las dimensiones y perfiles definidos para este elemento.

La dimensión de la longitud correspondiente al diámetro de ensayo de la probeta (0.53 in), es $L = 5.78$ in abarcando la rosca del tornillo de potencia hasta la posición del rodamiento que soporta la carga axial, que es la zona donde acertadamente se puede presentar el fenómeno de pandeo.

En la Figura 51 se muestra la probeta de acero AISI 4140, después de aplicado el tratamiento térmico. Las propiedades que se obtienen de este proceso son:

– AISI 4140 sin tratar:

$$S_y = 60200 \text{ psi}$$

$$S_{ut} = 95000 \text{ psi}$$

$$\text{Dureza Brinell} = 197$$

– AISI 4140 con tratamiento templado en aceite a 850°C y revenido:

$$S_y = 240000 \text{ psi}$$

$$S_{ut} = 270000 \text{ psi}$$

$$\text{Dureza Brinell} = 534$$

Figura 51. Probeta 4140 Tratada



Fuente: Los autores

La máquina utilizada para el ensayo fue la “MTS 810 Material Test System”, con la que cuenta la escuela de ingeniería civil, de la Universidad Industrial de Santander.

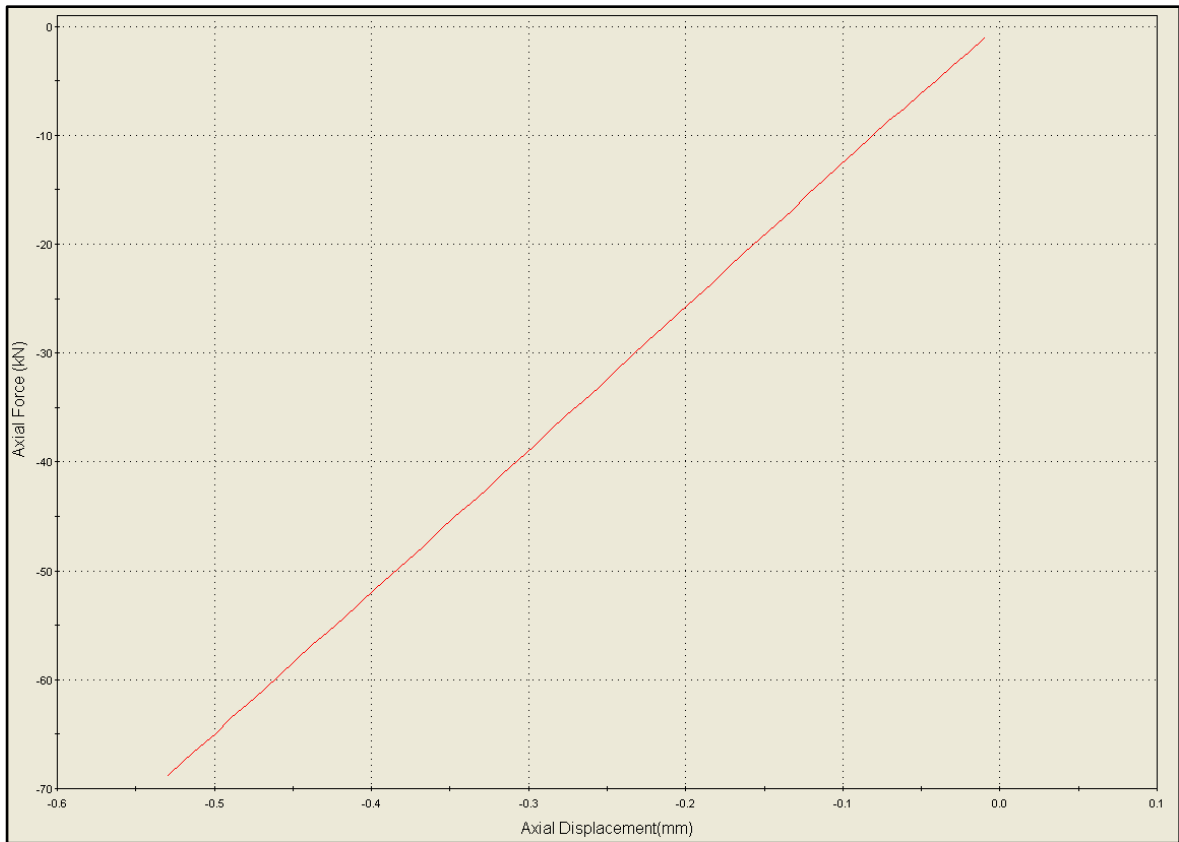
Figura 52. Máquina "MTS 810 Material Test System" para ensayos de tracción



Fuente: Los Autores

A medida que la máquina somete la probeta a compresión, el software que tiene esta incorporado realiza una gráfica “Fuerza Vs. Deformación”

Figura 53. Gráfica Fuerza Vs Deformación de Axial



Fuente: Los Autores

Para el requerimiento de presión de 10000 psi, la fuerza axial que se genera como reacción sobre el tornillo es de 9940.2 lb; mientras que el ensayo se ejecutó hasta alcanzar 15736.62 lb (aprox. 70KN). Teniéndose una deformación axial de 0.54 mm aproximadamente, con un comportamiento elástico, aun fuera de la zona de fluencia.

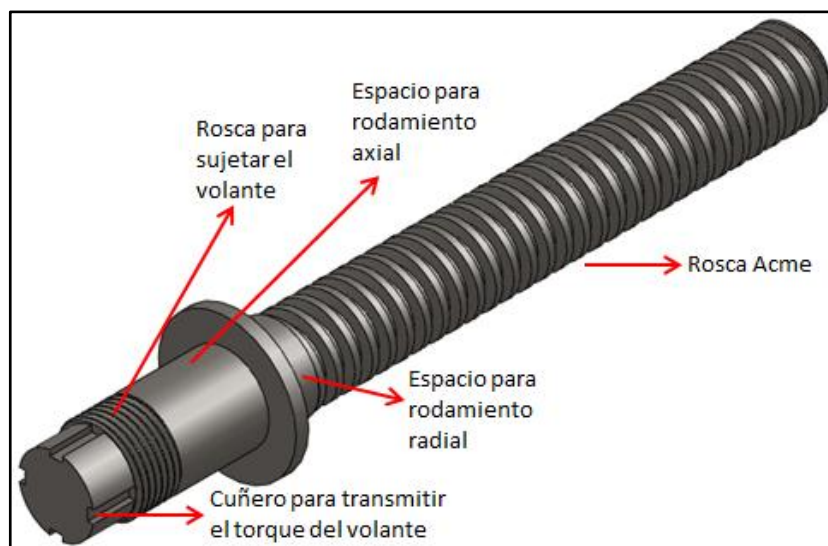
3.2.1.4. Diseño asistido por computadora para el tornillo de potencia.

Después de realizar el análisis matemático anterior, se planteó una serie de modificaciones en el cuerpo del tornillo, que no contemplaba modificar el perfil ni el diámetro de la rosca ya establecida (rosca ACME 5/8 in); solo se realizaron cambios para poder adaptar el tornillo con los demás elementos del diseño.

En la Figura 54 se muestra el resultado para un tornillo que mediante su giro, al bloquear la posibilidad de trasladarse, permite el movimiento de la tuerca para el desplazamiento de los demás elementos causantes de presurizar la cámara de bombeo.

El tipo de rosca, longitud y diámetro son los únicos elementos que fueron detallados en el transcurso del análisis matemático; el perfil y las dimensiones del resto del cuerpo fueron aproximadas, ya que dependía de muchos factores aun no establecidos.

Figura 54. Primer Diseño del Tornillo de Potencia



Fuente: Los Autores

Al seleccionar los rodamientos que van ensamblados sobre el tornillo como otros elementos que afectan su largo, se determinan las demás dimensiones para obtener como resultado el diseño final que se muestra en la figura 55 (diseño definitivo).

Figura 55. Diseño final del Tornillo de Potencia



Fuente: los Autores

Los cambios que se aprecian en el cuñero cuya función es transmitir el torque del volante, resultó como la mejor opción al facilitar su manufactura. El diseño fue validado mediante elementos finitos utilizando ANSYS.

3.2.2. Diseño de la tuerca.

Para el diseño de la tuerca se tuvo en cuenta el análisis matemático presente en el módulo “Tornillos de Potencia” del Ingeniero Mecánico Alfredo Parada Corrales”. De este análisis se puede obtener un valor aproximado de la altura de la tuerca (H).

El material que se determinó inicialmente para la tuerca fue latón, ya que es un material con bajo coeficiente de fricción, resistente a la oxidación (mejor que el bronce) y que presentaba un buen límite de fluencia ($S_{yt} = 34763.94$ psi).

3.2.2.1. Análisis por presión de contacto.

– En la tuerca:

$$S_{yt} = 34763.94 \text{ psi}$$

$N = 2.5$; factor de seguridad recomendado en la bibliografía

$$H = \frac{W \times P}{\pi \times d_m \times h \times S_{dc}}$$
$$S_{dc} = \frac{S_{yt}}{N}$$

$$S_{dc} = 13905.576 \text{ psi}$$

$$H = 0.81 \text{ in}$$

– En el tornillo:

$$S_{yt} = 240000 \text{ psi}$$

$N = 2.5$; factor de seguridad recomendado en la bibliografía

$$H = \frac{W \times P}{\pi \times d_m \times h \times S_{dc}}$$
$$S_{dc} = \frac{S_{yt}}{N}$$

$$S_{dc} = 96000 \text{ psi}$$

$$H = 0.12 \text{ in}$$

3.2.2.2. Análisis por flexión en el filete.

– En la tuerca:

$$H = \frac{3 \times W \times h \times P}{\pi \times d_o \times b^2 \times S_{dt}}$$
$$b = 1.26 \times h$$

$$b = 0.07875$$

$$S_{dt} = \frac{S_{yt}}{N}$$

$$S_{dt} = 13905.576 \text{ psi}$$

$$H = 0.1376 \text{ in}$$

– En la tornillo:

$$H = \frac{3 \times W \times h \times P}{\pi \times d_o \times b^2 \times S_{dt}}$$

$$b = 1.26 \times h$$

$$b = 0.07875$$

$$S_{dt} = \frac{S_{yt}}{N}$$

$$S_{dt} = 96000 \text{ psi}$$

$$H = 0.249 \text{ in}$$

3.2.2.3. Análisis por esfuerzo de corte en la raíz del filete.

– En la tuerca:

$$H = \frac{3 \times W \times P}{2 \times \pi \times d_o \times b \times S_{ds}}$$

$$S_{ys} = 0.55 \times S_{yt}$$

$$S_{ys} = 19120.167 \text{ psi}$$

$$S_{ds} = \frac{S_{ys}}{N}$$

$$S_{ds} = 7648.07 \text{ psi}$$

$$H = 1.576 \text{ in}$$

– En la tornillo:

$$H = \frac{3 \times W \times P}{2 \times \pi \times d_o \times b \times S_{ds}}$$

$$S_{ys} = 0.55 \times S_{yt}$$

$$S_{ys} = 132000 \text{ psi}$$

$$S_{ds} = \frac{S_{ys}}{N}$$

$$S_{ds} = 52800 \text{ psi}$$

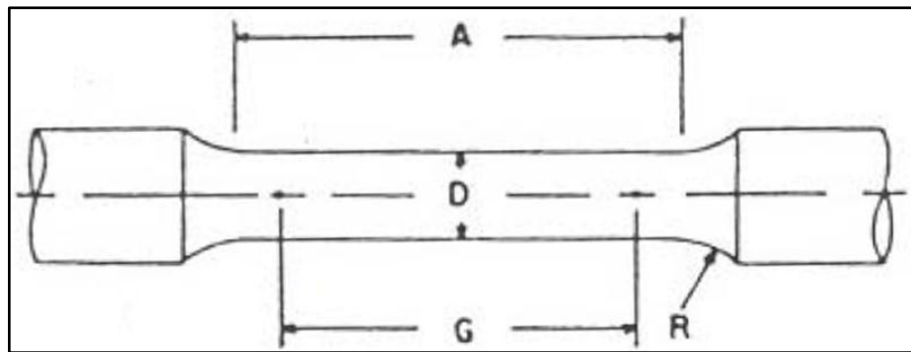
$$H = 0.228 \text{ in}$$

De los análisis realizados se presenta que la altura mínima de la tuerca para un factor de seguridad de $N = 2.5$ debe ser $H = 1.576$ (los esfuerzos de corte en la raíz del filete son los más críticos).

3.2.2.4. Caracterización del latón mediante ensayo a tracción.

Como no se tenía certeza de la resistencia del material, se solicitó a la escuela de Ingeniería Civil la oportunidad de realizar, junto con el ensayo de compresión realizado a la probeta que representaba el tornillo de potencia, un ensayo de tracción a una probeta normalizada de latón con el fin de identificar el límite de fluencia del material (S_y); indispensable para el análisis CAE.

Figura 56. Probeta Normalizada



Fuente: Norma ASTM E8 – 01

Pieza estándar:

- Diámetro Nominal (D) = 0.5 in
- Longitud de prueba (G) = 2 ± 0.005 in
- Radio del filete (R) = 0.375 in
- Longitud (A) = 2.25 in

La Figura 57 evidencia la forma y ubicación de la falla en el material. Describiéndolo efectivamente como un material frágil al no presentar la formación del cuello en el centro del diámetro nominal, característico de los metales dúctiles.

Figura 57. Fractura de la Probeta de Latón

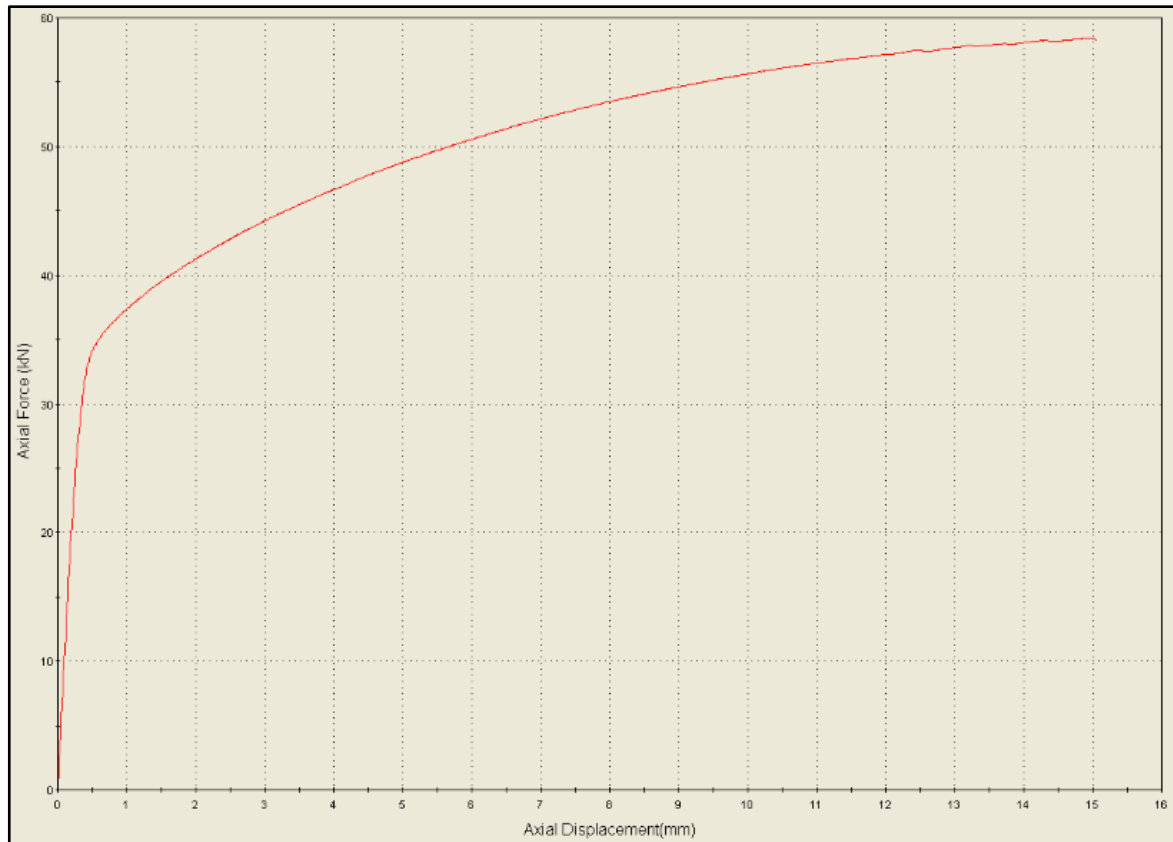


Fuente: Los Autores

La máquina describe una curva fuerza Vs deformación, donde no se visualiza la zona de fluencia característica de los materiales dúctiles. Los datos que se entregan de éste procedimiento es un archivo JPG para visuar la curva del ensayo y una tabla de Excel de la muestra de datos que captura el software de la máquina.

Requiriéndose un procedimiento adicional para obtener el puno de fluencia, pues con ninguno de estos archivos se podía determinar de manera inmediata.

Figura 58. Curva fuerza Vs Deformación del Latón

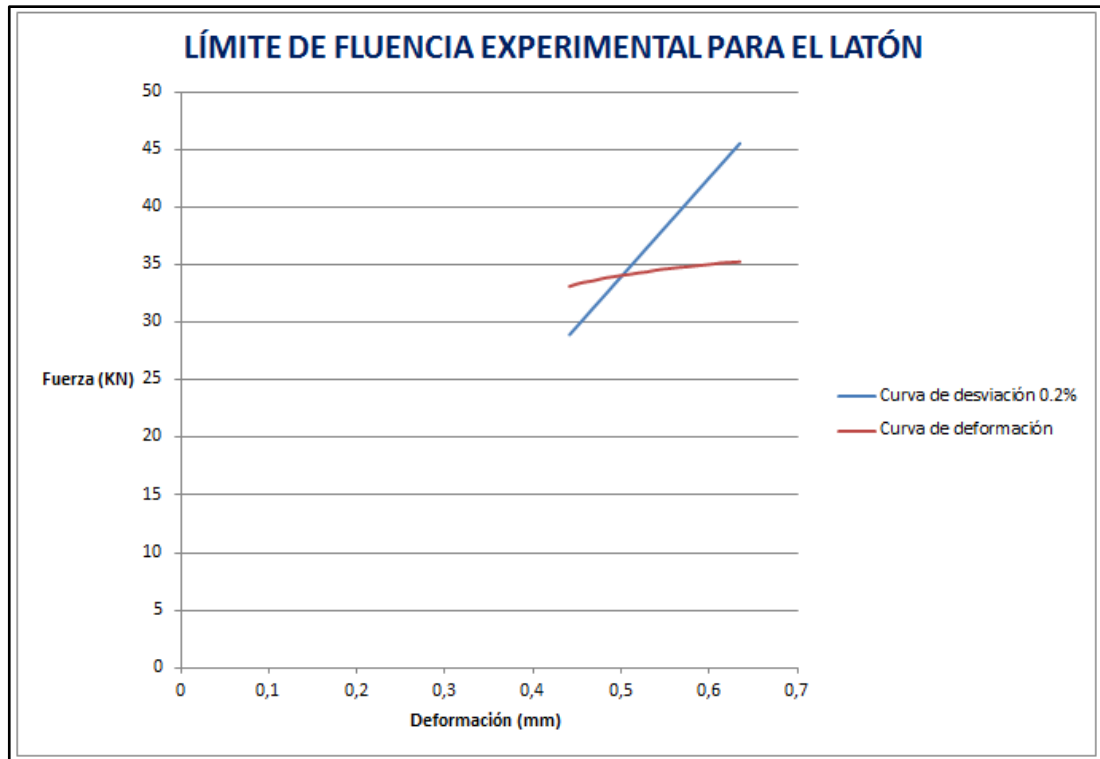


Fuente: Los Autores

Para obtener un punto de fluencia definido en la gráfica, se utiliza el procedimiento gráfico llamado método de la desviación, donde normalmente se elige una deformación unitaria del 0.2% y desde ese punto situado en el “eje x” en el diagrama de esfuerzo deformación, se traza una línea paralela a la porción recta inicial de la curva. El punto en que esta línea interseca a la curva define la resistencia de fluencia.

El procedimiento que se realizó es recomendado para los metales frágiles que no presentan formación de cuello en la sección de prueba y tampoco una región de fluencia en la grafica esfuerzo Vs deformación, característica de los metales dúctiles.

Figura 59. Límite de fluencia Latón



Fuente: Los Autores

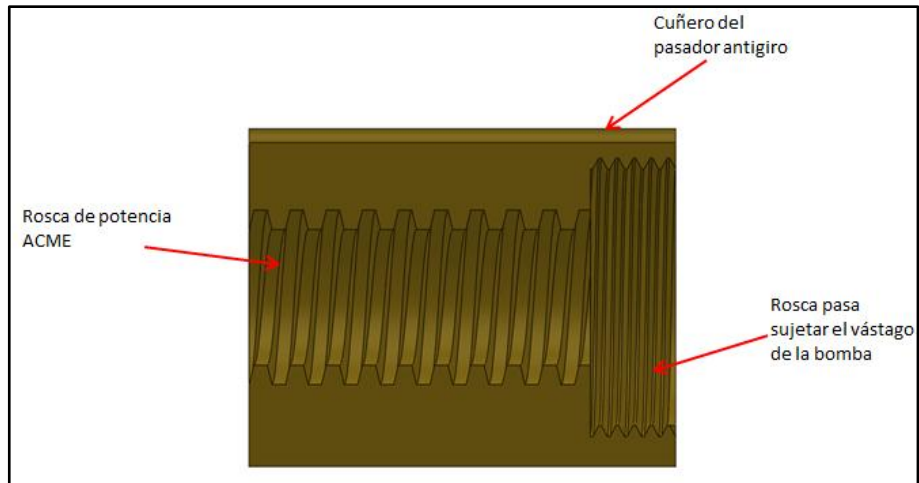
El procedimiento se elaboró en EXCEL, teniendo en cuenta el rango de valores que permite ver el punto de corte de la curva con el procedimiento que se debe realizar. De este método se concluye que el límite experimental de fluencia es $S_y = 37570.02 \text{ psi}$.

3.2.2.5. Diseño asistido por computadora para la tuerca.

A continuación se ilustran los diseños más significativos en el proceso de diseño de la tuerca.

- El primer bosquejo surge de la idea de trasladar la tuerca mediante el giro del tornillo de potencia, para lo cual se debió bloquear la posibilidad de su giro, mediante un pasador que atraviesa su cuerpo en la parte superior que a su vez va unido a la camisa guía de la bomba.

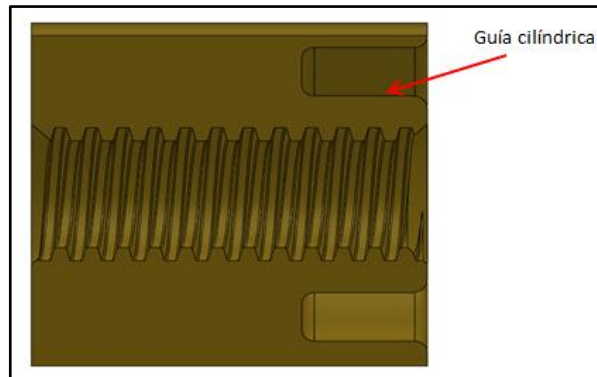
Figura 60. Primer planteamiento Tuerca



Fuente: Los Autores

- La rosca para sujetar el vástago de la bomba se modificó por una guía cilíndrica para permitir un montaje relativamente sencillo; sin embargo en el análisis CAE no arroja un factor de seguridad mayor a $N = 1$.

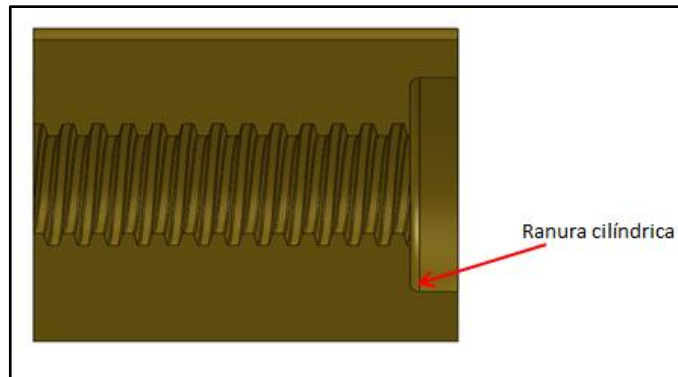
Figura 61. Segundo planteamiento Tuerca



Fuente. Los Autores

- Se consideró la posibilidad de una ranura cilíndrica mas sencilla para el montaje, sin obtener un resultado positivo para el factor de seguridad, aunque facilitaba un poco mas el proceso de manufactura.

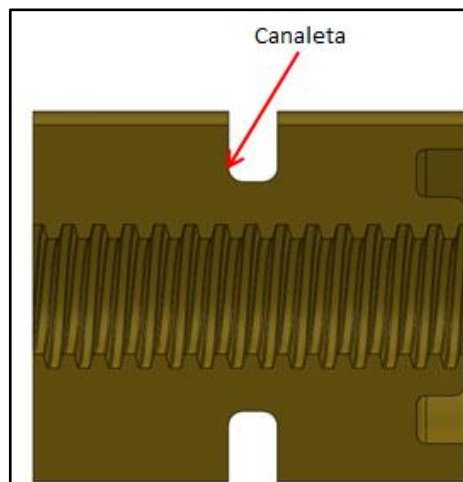
Figura 62. Tercer planteamiento Tuerca



Fuente: Los autores

- Surge la necesidad de concentrar los esfuerzos en la zona central de la tuerca, por esto se realiza el estudio de una canaleta en el centro de la misma donde el espesor mínimo se planteó de 3 mm por cuestión de la manufactura.

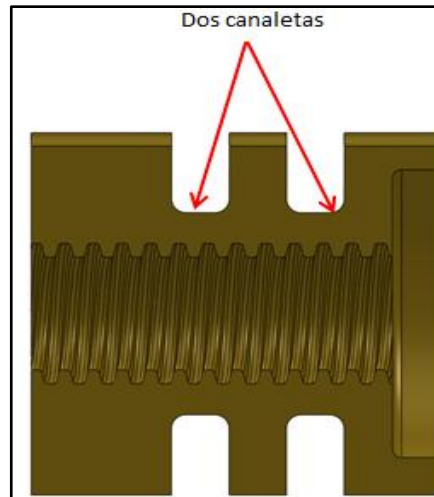
Figura 63. Cuarto planteamiento Tuerca



Fuente: Los autores

- Al no obtener un resultado positivo en el factor de seguridad de la tuerca, se sugirió añadir otra canaleta para concentrar aun más los esfuerzos en la zona central.

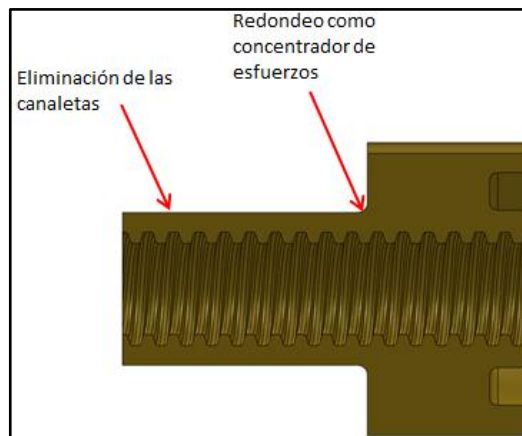
Figura 64. Quinto planteamiento Tuerca



Fuente: Los Autores

- Esta alternativa se presenta al no poder aumentar el factor de seguridad de la tuerca, obteniendo un resultado aun negativo para éste.

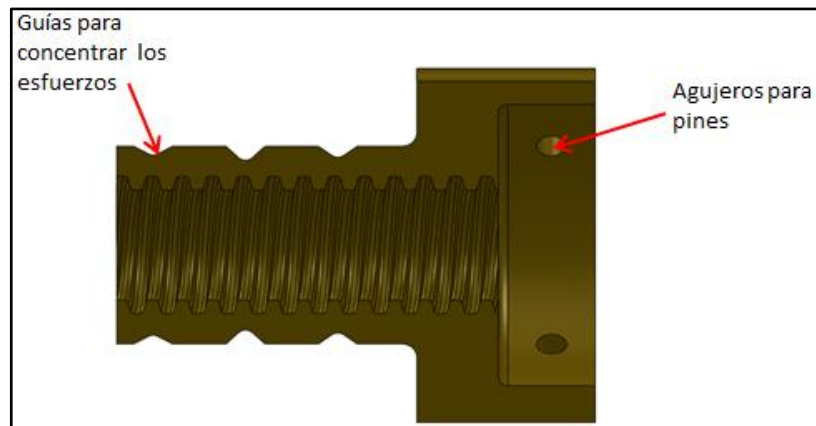
Figura 65. Sexto planteamiento Tuerca



Fuente: Los Autores

- Con este último perfil el factor de seguridad se aproxima a $N = 1$, sin embargo sigue siendo muy crítico para definir la geometría de esta manera. Se incluyen cuatro agujeros para los pasadores que sujetan el vástago a la tuerca.

Figura 66. Séptimo planteamiento Tuerca

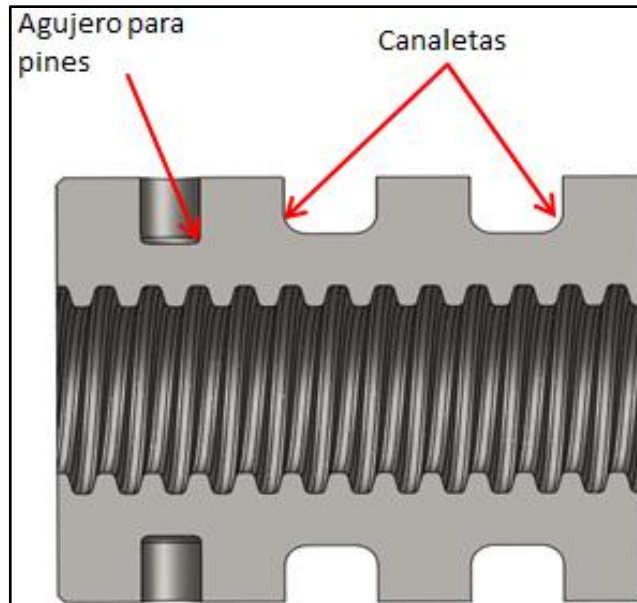


Fuente: Los Autores

– Al cabo de otros cambios menos apreciables en las geometrías de las figuras anteriores, y sin obtener un factor de seguridad superior a $N = 1$, se optó por cambiar el material de la tuerca; definiéndolo como AISI 4340, que es un acero grado maquinaria al Cromo – Níquel – Molibdeno de la mas alta tenacidad por su alto contenido de Níquel. Para piezas y partes de maquinaria de alta exigencia en su uso general, como cigüeñales, engranajes, ejes, etc. Cabe aportar que este material posee más resistencia a la oxidación respecto a los aceros al carbón debido a su composición química.

De las geometrías mostradas anteriormente se tomó aquella que arrojó un mayor factor de seguridad, contempla la mayor superficie externa y se adapta mejor a la manufactura. En este diseño surge la necesidad de crear una camisa de desgaste que cubre la tuerca y esta encargada de deslizarse con respecto a la camisa guía de la bomba, esto evita que la tuerca entre en contacto con la camisa guía y de esta manera evitar el desgaste de las dos piezas debido a que poseen durezas similares y el coeficiente de fricción es alto, propiciando el desgaste acelerado que llevaría a tener que cambiar estos elementos cada vez que tuviera lugar un mantenimiento correctivo.

Figura 67. Octavo planteamiento Tuerca



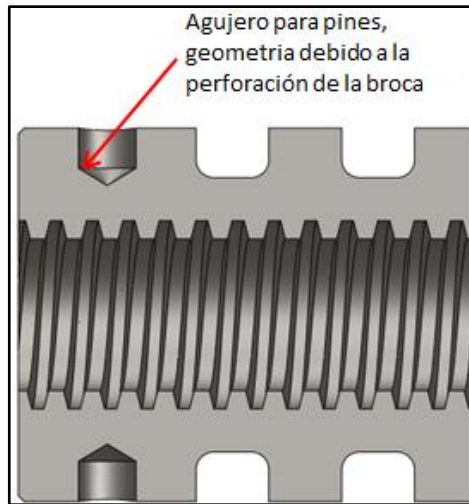
Fuente: Los Autores

- Para sujetar la camisa de desgaste con la tuerca se realizan cuatro agujeros igualmente espaciados sobre estos elementos, esto permite adaptarle una serie de pines que impiden el giro relativo entre la camisa guía y la tuerca.

El perfil en punta de los agujeros que se ve en la figura 68 resulta del acabado propio de la broca responsable de esta operación. Descartándose la posibilidad de generar una superficie plana en la parte inferior del taladrado ya que se genera una operación mas de mecanizado, con dificultad para lograr esta geometría e igualmente no presenta cambios considerables en el análisis CAE del sistema.

Se tiene en cuenta igualmente que el redondeo de las ranuras que tiene la pieza para desviar los esfuerzos al centro de la misma, se determinarán conociendo previamente las capacidades de concebir la geometria que tienen las herramientas de corte disponibles en el momento de ejecutar el mecanizado.

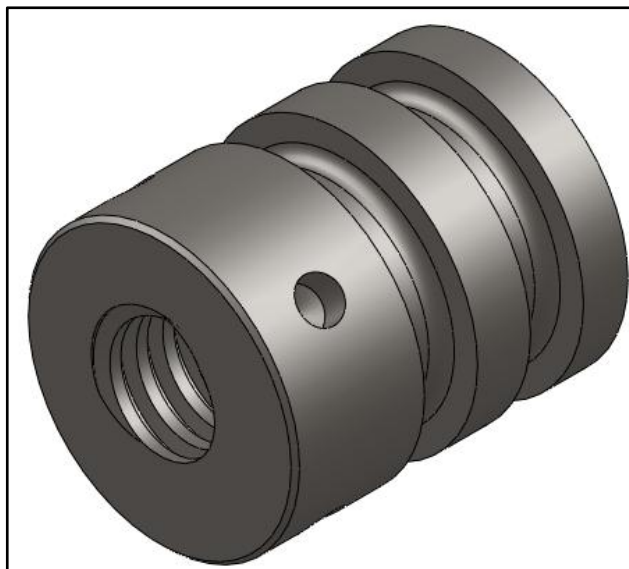
Figura 68. Planteamiento final Tuerca



Fuente: Los Autores

- El diseño de la tuerca genera entonces la necesidad de crear una camisa de desgaste, sin embargo con el cambio de material se asegura que el funcionamiento sea el correcto alargando la vida útil de este elemento. La Figura 69 muestra el perfil definitivo para la manufactura de la Tuerca.

Figura 69. Perfil Tuerca



Fuente: Los Autores

3.3. DISEÑO DEL VÁSTAGO DE LA BOMBA.

Este elemento lleva consigo la responsabilidad de hacer del diseño un conjunto de elementos compactos; esto quiere decir que su geometría debe ser tal que permita ocupar la menor longitud y reducir el número de piezas. Para lograr este objetivo se exige al máximo este elemento, buscando que su forma tenga la capacidad de resguardar el tornillo cada vez que la tuerca se desplace hacia el interior del mismo en las operaciones de succión y de descarga de la bomba.

Se requirió hacer del “vástago” un elemento hueco capaz de soportar la carga axial, producto de la reacción al presurizar la bomba. Por su característica de tener una longitud considerablemente mayor que su diámetro, se sugirió analizar su comportamiento mediante el análisis para columnas.

3.3.1. Análisis del Vástago como columna.

Existen varias teorías para el análisis de estos elementos (columnas) como lo son las ecuaciones de Euler y Jhonson; que requiere revisar la esbeltez para definir el método a utilizar. Así pues, la fórmula de la “secante centrada” abarca los casos de columnas cortas, medias y largas, todas centradas en una sola clase continua.

Concebir una columna totalmente recta es un concepto ideal, siempre se presentan imperfecciones en su rectitud lo cual aumenta a medida que se hacen mas largas. Por eso la ecuación de la “secante cuadrada” emplea una excentricidad equivalente que aumenta con la longitud en una relación de $e/d = 1/400$; limitándose exclusivamente para cargas centradas. Se considera que no presenta pandeo con un valor en el factor de seguridad de $N > 1.2$

– Parámetros geométricos.

El diámetro exterior de la columna se definió teniendo en cuenta el diámetro exterior del sello, esto para buscar que su valor fuera lo mayor posible.

Para el diámetro interior se debió prestar especial atención al diámetro externo del tornillo, ya que este último elemento tendrá un desplazamiento lineal relativo con el vástago durante el funcionamiento de la bomba.

El largo debía ser un valor un poco mayor a la carrera del pistón necesaria para desplazar un volumen de 50 cc establecido como requerimiento de diseño.

$d_0 = 1.1 \text{ in}$ $L = 3.81 \text{ in}$ $K = 0.3189 \text{ in}$; radio de giro
 $d_i = 0.645 \text{ in}$ $A = 0.6236 \text{ in}^2$ $r = 0.55$; distancia del eje a la fibra mas lejana

– Propiedades del material.

Con el fin que este elemento tenga una vida útil bastante prolongada se propuso que el material fuese acero inoxidable AISI 304, resistente a la corrosión y oxidación. Se utiliza en la industria química, alimenticia, textil y petrolera, para piezas varias, para fabricar tuercas, tornillos, partes para válvulas, cuchillería, artículos domésticos, etc.

Para la condición de columna se toma un valor de $\mu = 0.5$; que representa una condición de ambos extremos fijos (ver Figura 39).

El primer factor de seguridad se obtiene de un proceso iterativo que consiste en asumir el esfuerzo de trabajo crítico, como la resistencia del material a la cedencia por compresión (S_{yc}), que para materiales dúctiles como el acero se podría tomar como una buena aproximación el límite de resistencia a la cedencia por tracción (S_y). Se asume un valor para la carga crítica hasta obtener un resultado del esfuerzo de trabajo crítico calculado (σ_{wcr}) cercano al límite de cedencia por compresión del material (S_{yc}). Se define entonces de esta manera la carga crítica tamandose un porcentaje de error máximo hasta del 2%.

$$\sigma_{wcr} = S_{yc} = \frac{P_{cr}}{A_{cr}} \times \left[1 + \frac{L \times r}{400 \times K^2} \times \sec \left(\left(\frac{\mu \times L}{K} \right) \times \sqrt{\frac{W}{4 \times E \times A_{cr}}} \right) \right]$$

$$A_{cr} = A_{eq}$$

El proceso iterativo concluyó con los siguientes valores:

$$P_{cr} = 17783.49 \text{ Lb}$$

$$\sigma_{wcr} = 29994,7981 \text{ psi; valor calculado asumiendo } P_c.$$

$$S_{yc} = 29994.81 \text{ psi}$$

$$\%Error = \left| \frac{Valor_{teórico} - Valor_{real}}{Valor_{teórico}} \times 100 \right|$$

$$\%Error = 3.95 \times 10^{-5}$$

Se determina el esfuerzo de trabajo a compresion (σ_{wn}) que soporta el vástago con estas dimensiones.

$$\sigma_{wn} = \frac{P_n}{A} \times \left[1 + \frac{L \times r}{400 \times K^2} \times \sec \left(\left(\frac{\mu \times L}{K} \right) \times \sqrt{\frac{W}{4 \times E \times A_{eq}}} \right) \right]$$

$$P_n = 9940.2 \text{ lb}$$

$$\sigma_{wn} = 16764,1007 \text{ psi}$$

Conocidos los valores de carga crítica (P_{cr}) y del esfuerzo de trabajo (σ_{wcr}), se realiza el cálculo de los factores de seguridad:

$$N_1 = \frac{P_{cr}}{P_n}$$

$$N_1 = 1.789$$

$$N_2 = \frac{S_{yc}}{\sigma_{wn}}$$

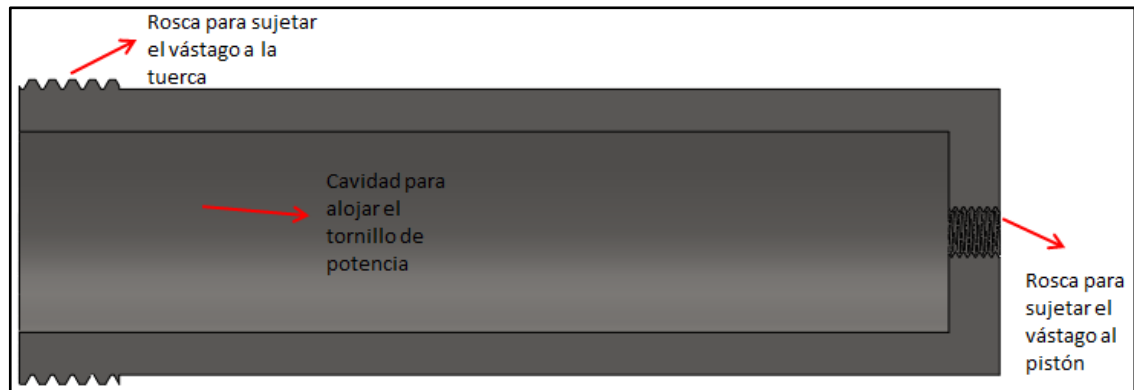
$$N_2 = 1.789$$

Para las condiciones establecidas, ambos factores de seguridad son similares $N = 1.789$, concluyendo que las dimensiones son apropiadas para el diseño del vástago en acero inoxidable AISI 304.

3.3.2. Diseño asistido por computadora para el Vástago.

Como primera geometría surgió una que permite ver el concepto y función del vástago, donde inicialmente se pensó que fuera roscada a la tuerca, al igual que con el pistón en su otro extremo.

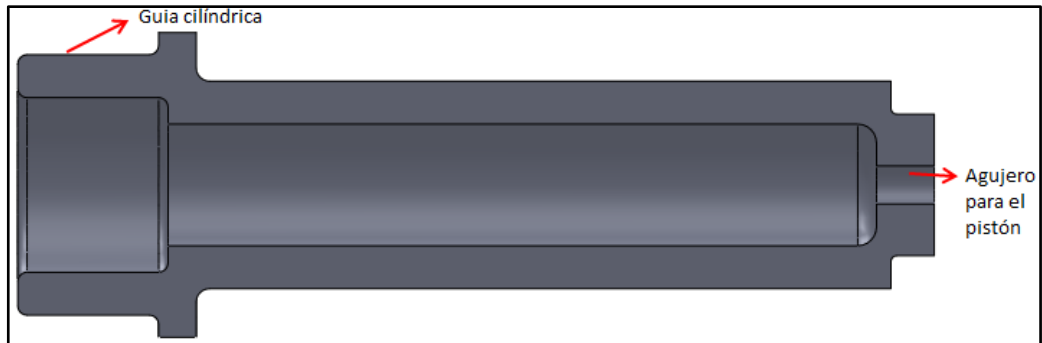
Figura 70. Primer planteamiento Vástago



Fuente: Los Autores

Se considero la posibilidad de remplazar las roscas que sujetaban a la tuerca y al pistón por una guía cilíndrica y un agujero para ajuste por interferencia con el pistón, teniendo en cuenta que se mejoraban los procesos de manufactura del elemento.

Figura 71. Segundo planteamiento Vástago



Fuente: Los Autores

Se continuo con una serie de cambios que no son perceptibles en la figura anterior, sin embargo, aunque anteriormente se hubiese evaluado el factor de seguridad $N = 1.789$, la geometría generaba una serie de concentradores de esfuerzos que causaban falla en el material. Se planteo eliminar la guía cilíndrica por una aleta circular que corrigiera estas fallas, sin obtener un resultado positivo.

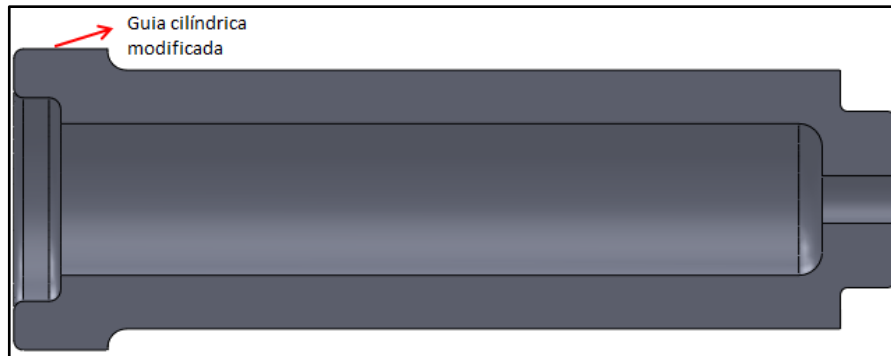
Figura 72. Tercer planteamiento Vástago



Fuente: Los Autores

Se retomó la guía cilíndrica para buscar una mejor opción que aumentara el factor de seguridad de la pieza, realizando una serie de cambios imperceptibles para buscar obtener un ensamble mas sencillo con los elementos que van en contacto con este elemento.

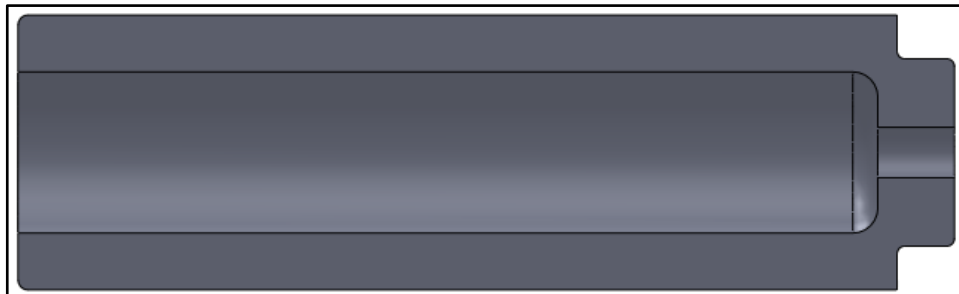
Figura 73. Cuarto planteamiento Vástago



Fuente: Los Autores

Se elimina de cierta forma la guía cilíndrica en busca de aumentar el factor de seguridad, observando una geometría aun mas sencilla para la construcción del elemento, que sin embargo presenta un cambio negativo en el factor de seguridad, disminuyendo considerablemente al obtenido en la figura anterior.

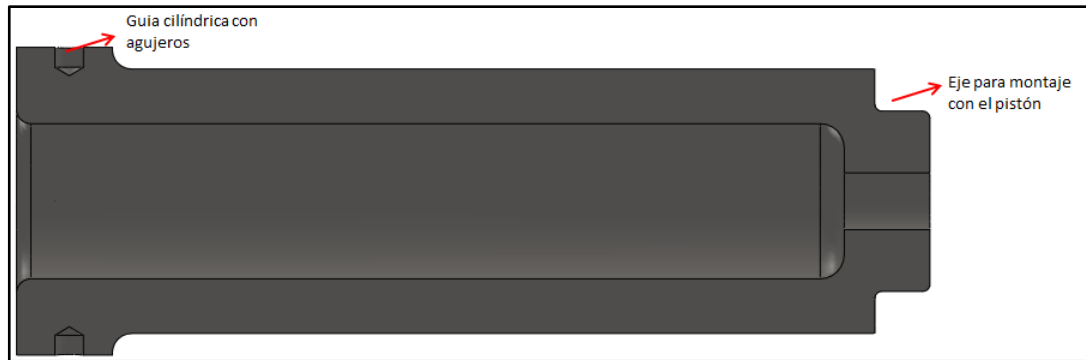
Figura 74. Quinto planteamiento Vástago



Fuente: Los Autores

EL proceso continúa hasta llegar al punto en que se mejora la guía cilíndrica, incluyéndole una serie de cuatro agujeros igualmente espaciados para ubicar unos prisioneros (M3 x 0.5) que permiten el montaje del vástago a la camisa de desgaste, que surge del diseño de la tuerca. En un extremo cuenta con un pequeño eje que sobresale para el montaje del pistón.

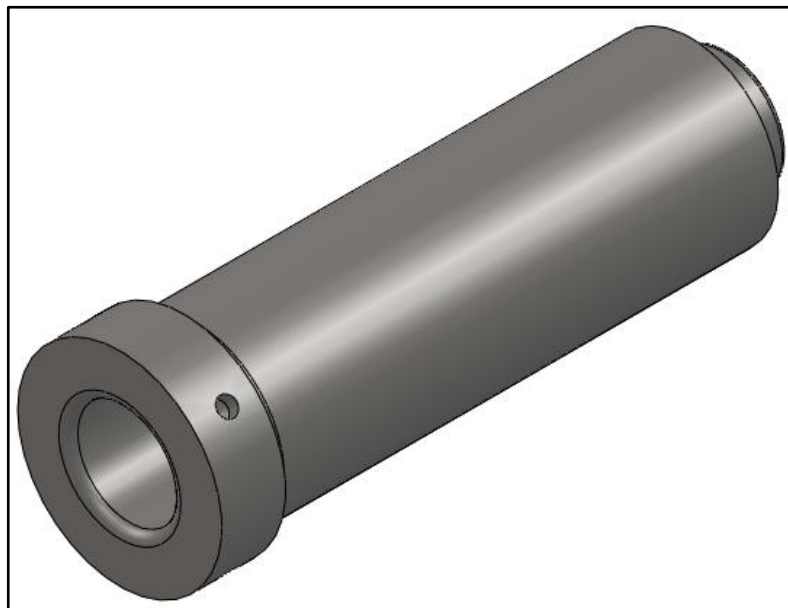
Figura 75. Sexto planteamiento Vástago



Fuente: Los Autores

La geometría se acomoda satisfactoriamente al diseño, cumpliendo la función para la cual se requería.

Figura 76. Planteamiento final Vástago



Fuente: Los Autores

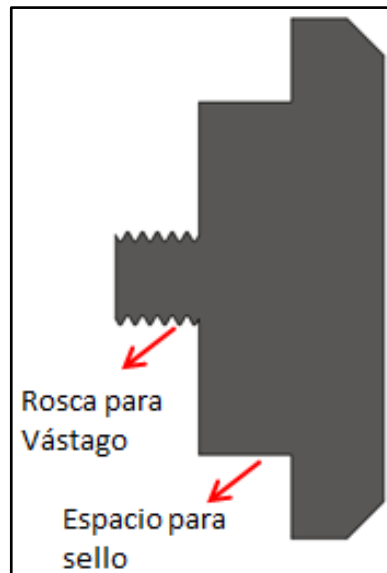
3.4. DISEÑO DEL PISTÓN.

Este es el elemento encargado de presurizar y mantener la presión en la cámara de bombeo, donde su diseño esta sujeto a cambios producto de las características

del sello que se pueda implementar. Por su geometría relativamente compleja al tener varios cambios en su sección transversal, el análisis de esfuerzos se debió realizar mediante un software de “Ingeniería Asistida por Computadora”.

Se considero inicialmente que esta pieza estuviera sujeta al elemento llamado “Vástago” mediante alguna rosca. De esta manera se permitiría el montaje sencillo, al igual que un buen ajuste del sello en caso de necesitarlo. En la Figura 77 se muestra el perfil que surgió como idea original del diseño, aun sin realizar ningún análisis de Ingeniería.

Figura 77. Primer planteamiento Pistón Tapa



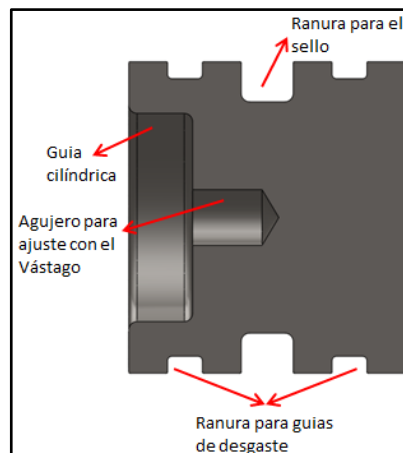
Fuente: Los Autores

El factor principal para dar inicio al diseño de la bomba consistió en encontrar un sello con capacidad para alcanzar el requerimiento de 10000 psi, encontrándose como primera opción el modelo TP del fabricante Parker. Se estableció entonces el contacto con un proveedor para efectuar su importación, que durante aproximadamente un mes se creyó viable llevar acabo; sin embargo, no fue posible por la cantidad que se debían despachar y el costo de la importación.

En el transcurso de la respuesta del proveedor se dio inicio al diseño del pistón, buscando la mejor disposición para alojar el sello modelo TP y sus respectivas guías de desgaste, contemplando que se pudiera utilizar para su construcción el acero inoxidable AISI 304.

Las características del material propuesto inicialmente para el pistón no fueron lo suficientemente buenas para soportar y transmitir los esfuerzos a los demás elementos del diseño si presentar daño en el material, reflejado al obtenerse un factor de seguridad menor a $N = 1$.

Figura 78. Segundo planteamiento Pistón Tapa



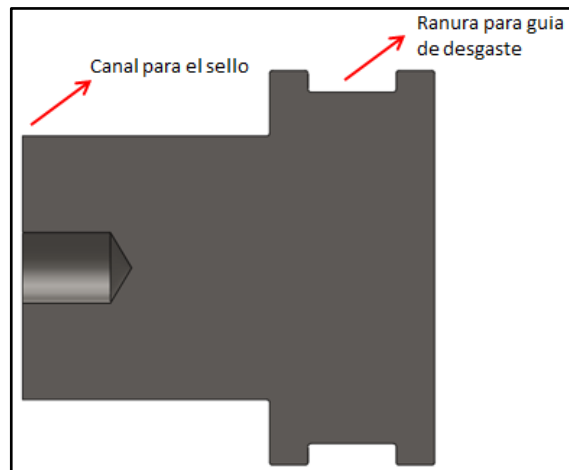
Fuente: Los Autores

Al tener respuesta del proveedor para el sello Parker y considerar que no era viable tomar esta opción, se requirió una vez más la búsqueda en el mercado de un sello capaz de soportar el requerimiento de presión; encontrando disponible un sello tipo Vee-Packing del fabricante “Hercules Sealing Products”.

Se modificó entonces la geometría del pistón para adaptar el modelo del sello “VS” del nuevo fabricante, lo que sugirió seleccionar un nuevo material más resistente para soportar los esfuerzos que genera la presión. El material seleccionado fue el

AISI 4340, que es un material aun más resistente que el acero inoxidable AISI 304, no con las propiedades inoxidables de este último, pero con características que le permite ser mas resistente a la oxidación que otros aceros al carbono.

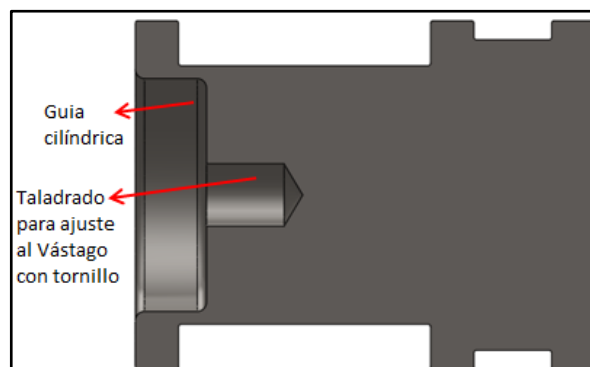
Figura 79. Tercer planteamiento Pistón Tapa



Fuente: Los Autores

El diseño se modificó creando una guía cilíndrica que permitiera centrar el Vástago con el Pistón, dejando un taladrado para posteriormente considerar la idea de ajustarlos con algún tipo de tornillo.

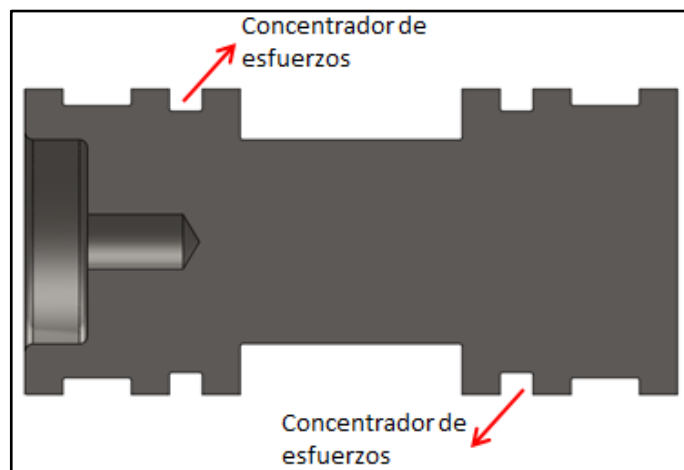
Figura 80. Cuarto planteamiento Pistón Tapa



Fuente: los Autores

Debido a la geometría del Vee-Packing, el diseño presenta una serie de concentradores de esfuerzos que inducen falla en el material; para lo cual se planteó después de una serie de modificaciones en el perfil del pistón, un conjunto de concentradores de esfuerzos benéficos que cargan la pieza en determinadas zonas, reduciendo así la presencia de esfuerzos en otras que puedan causar deformación permanente del material.

Figura 81. Quinto planteamiento Pistón Tapa

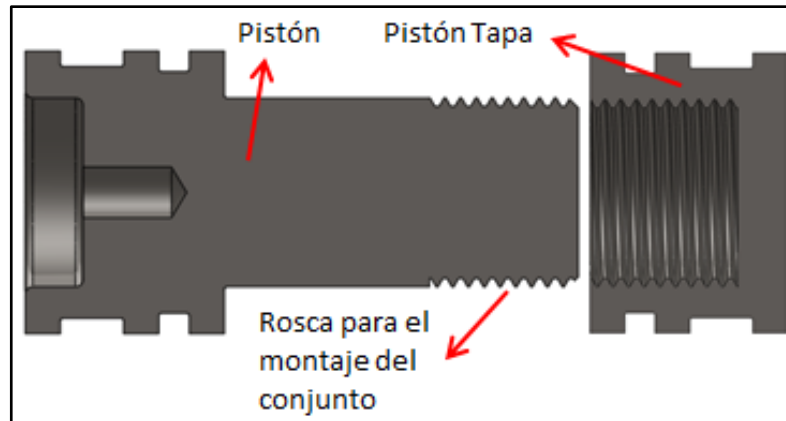


Fuente: Los Autores

El diseño mejora con la idea de desviar los esfuerzos con otros concentradores, aunque se tenía previamente la situación de no poder ensamblar el sello debido a la geometría.

Aparece entonces la necesidad de combinar un conjunto de piezas para permitir el montaje del sello, su ajuste y correcto funcionamiento; que se logra al diseñar una pieza denominada “Pistón”, donde se ubica directamente el Vee-packing y otra que cierra el conjunto denominada “Pistón-Tapa”; ambas con guías de desgaste para evitar el contacto directo entre metales en la cámara de bombeo.

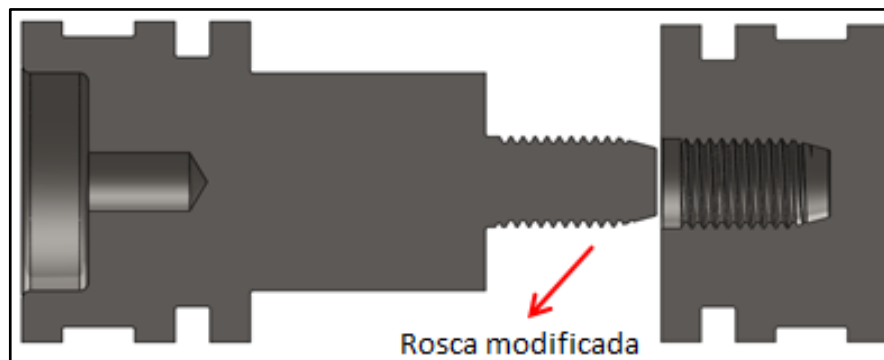
Figura 82. Sexto planteamiento Pistón Tapa



Fuente: Los Autores

Se modificó la rosca para un montaje más sencillo, sin embargo la fricción del pistón tapa con el sello durante el ajuste presentaría el desgaste de este último elemento que es vital para la hermeticidad de la bomba.

Figura 83. Séptimo planteamiento Pistón Tapa

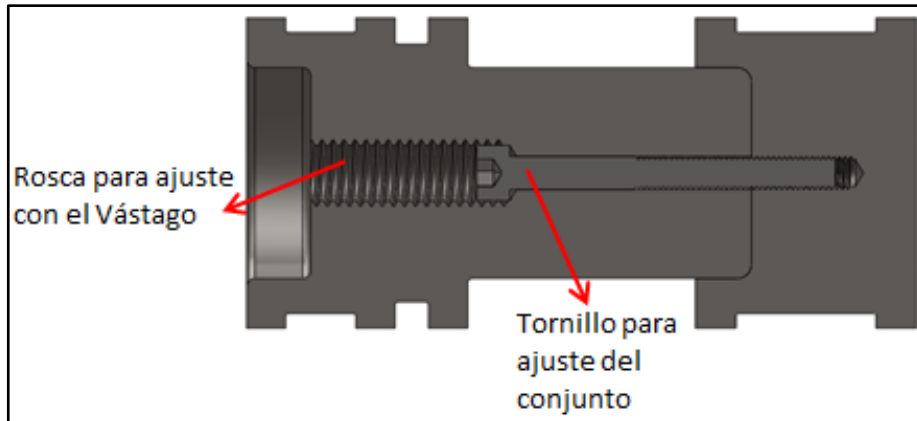


Fuente: Los Autores

Al transcurrir varios cambios, unos notorios, otros más sutiles, se concluye la idea del pistón como un conjunto de dos piezas que son ajustadas en su interior por un tornillo de cabeza hexagonal M3. La pieza “Pistón tapa” resulta ser indiferente a la ranura que actúa como concentrador de esfuerzos benéficos; que se elimina

permitiendo ajustar una guía de desgaste de mayor ancho. EL “Pistón” es roscado en su interior para permitir el ajuste con el Vástago.

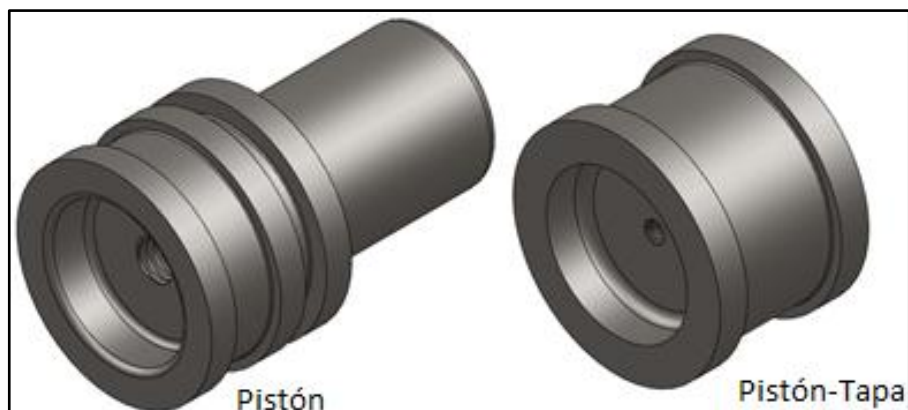
Figura 84. Planteamiento Final Pistón Tapa



Fuente: Los Autores

El conjunto del pistón resultó como consecuencia de tener que adaptar el diseño al fabricante del sello. Presenta una mayor longitud que el diseño planteado para el sello “Parker”, afectando el largo de la cámara de bombeo, pero aumentado el factor de seguridad en el conjunto.

Figura 85. Perfil Pistón Tapa

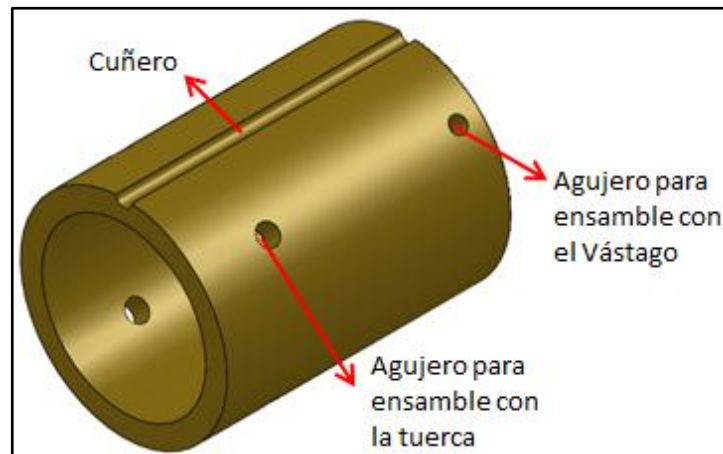


Fuente: Los Autores

3.5. DISEÑO DE LA CAMISA DE DESGASTE.

Este elemento no se encontraba considerado en la idea original para el funcionamiento de la bomba, es concebido del proceso de diseño de la Tuerca como un elemento que debe ser capaz de aislar el contacto directo de ésta, con la Camisa Guía responsable de permitir el desplazamiento de la tuerca. Esta función sugiere que el material escogido para esta pieza sea el latón, con bajo coeficiente de fricción con el acero y buena resistencia a la oxidación.

Figura 86. Primer planteamiento Camisa de Desgaste

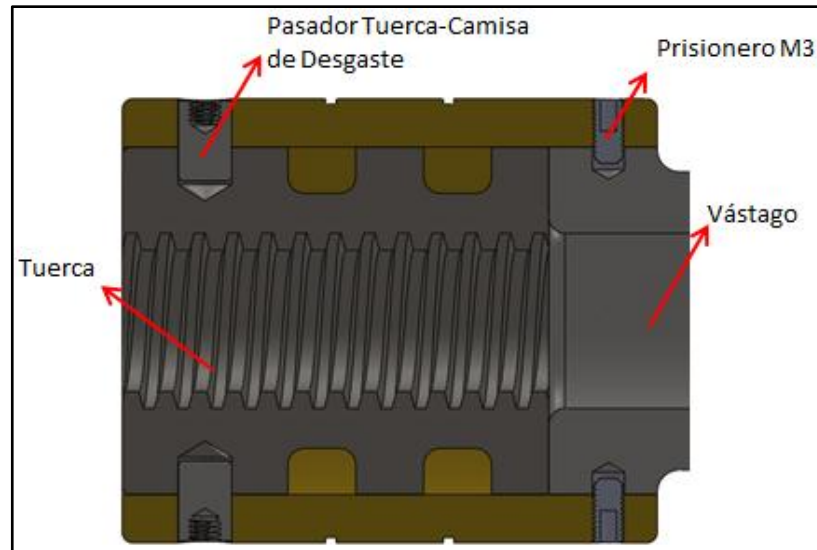


Fuente: Los Autores

Su geometría esta basada en la idea de sujetar la Tuerca y el Vástago permitiendo que la fuerza axial producto de la presión sea transmitida por estos dos, sin influir en el material de la Camisa de desgaste.

Su diseño consiste entonces en un cilindro hueco con cuatro perforaciones en un extremo para sujetar la tuerca e impedir el giro de esta, y cuatro perforaciones para sujetar el Vástago, permitiendo el contacto directo del conjunto Tuerca-Vástago; incluyendo también un cuñero circular para introducir un eje que impida la rotación relativa con la Camisa Guía.

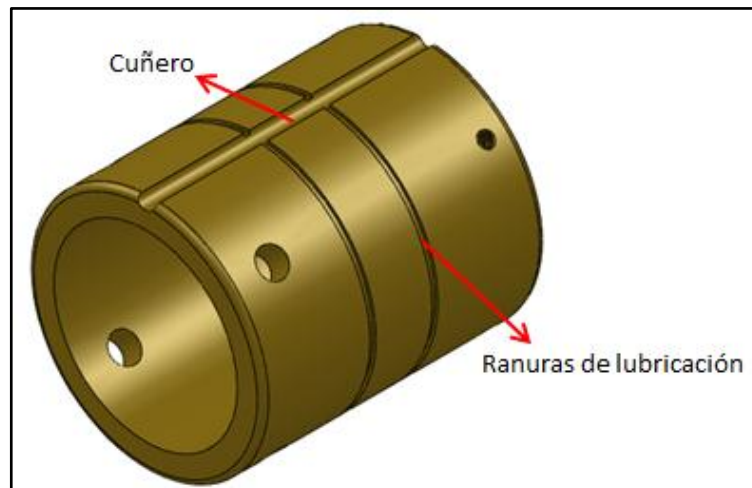
Figura 87. Planteamiento final Camisa de Desgaste



Fuente: Los Autores

El diseño sufre una serie de modificaciones que le permiten tener un mejor comportamiento, como unas ranuras en el medio del diámetro exterior para contener y filtrar el lubricante.

Figura 88. Perfil Camisa de Desgaste



Fuente: Los Autores

3.6. DISEÑO DE LA CÁMARA DE BOMBEO

Es el elemento responsable de succionar, contener y presurizar el fluido a otros sistemas. Su trabajo es similar a un recipiente sometido a presión, por tal razón se plantea previamente un análisis matemático para determinar el mínimo espesor que soporta el requerimiento de 10000 psi.

3.6.1. Análisis de esfuerzos en cilindros de pared delgada

Como no se conoce el espesor de pared de la cámara de bombeo, se asume entonces como cilindro de pared delgada, donde el esfuerzo longitudinal (S_{long}) resulta ser mayor que el esfuerzo circunferencial. La expresión matemática que se utiliza para describir el esfuerzo longitudinal en cilindros de pared delgada es función del diámetro medio (D_{medio}) y el espesor de la pared (t). Debido a que no se conocen estos factores surge un procedimiento iterativo para poder determinarlos.

$$S_{long} = \frac{P \times D_{medio}}{2t}$$

Donde:

P = presión

Se recomienda que la presión de diseño sea 10% más de la presión máxima de operación.

$$P = (10\% \times P_{m\acute{a}x}) + P_{m\acute{a}x}$$

$$P_{m\acute{a}x} = 10000 \text{ psi}$$

$$P = 11000 \text{ psi}$$

$$D_{medio} = \frac{D + d}{2}$$

D = diámetro exterior

d = diámetro interior

$$t = \frac{D - d}{2}$$

– El proceso iterativo consiste en tomar el valor del diámetro interior (d) como el valor del diámetro exterior del sello seleccionado ($d = 1 \frac{1}{8}$ in).

– Se toma el valor del límite de fluencia (S_y) del material para la Cámara de bombeo como el valor del esfuerzo longitudinal (S_{long}).

El material que se recomienda es acero inoxidable AISI 304 por sus características inoxidables. ($S_y = 2994.81$)

– Se asume un diámetro medio (D_{medio}) y se obtiene el valor del espesor (t) de la ecuación del esfuerzo (S_{long}).

– Con la ecuación del espesor (t) se obtiene el valor del diámetro exterior (D).

– Con el valor del diámetro exterior (D) y la ecuación del diámetro medio (D_{medio}) se calcula este último valor y se compara con el diámetro medio supuesto.

$D_{medio} = 1.3775$ in (Supuesto)

$D_{medio} = 1.37758$ in (Calculado)

Del proceso iterativo se deducen los valores del diámetro interior mínimo que debería tener la cámara de bombeo.

$t = 0.2526$ in

$D = 1.63$ in

3.6.2. Análisis bajo norma ASME para calderas y recipientes sometidos a presión; sección VIII, división 1

De la norma se recomienda cuando la presión excede el valor de $P = 0.385 \times S \times E$, utilizar la siguiente expresión para calcular el espesor de la pared.

$$t = \frac{P \times R}{(S \times E) - (0.6 \times P)}$$

Donde

$P = 11000$ psi.

$R = \text{radio interior} = 0.5625$ in.

$S = \text{esfuerzo de fluencia del material} = 29994.81$ psi.

$E = 1$, valor recomendado por la norma.

$t = 0.2645$ in

$D = 1.6539$ in

De los dos análisis se puede concluir que el mínimo valor para el diámetro exterior (D) en la cámara de bombeo debe ser de:

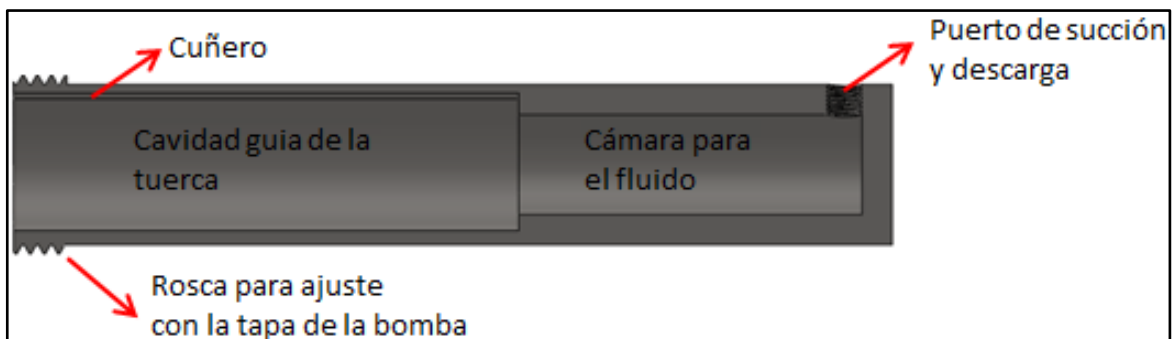
$D = 1.654$ in.

3.6.3. Diseño asistido por computadora para la Cámara de Bombeo

La cámara de bombeo se planteó inicialmente para cumplir con la función de contener el fluido y centrar la tuerca.

Se propuso un extremo roscado para sujetar esta pieza con la tapa de la bomba, mientras en el extremo opuesto se ubica un solo puerto de succión y descarga.

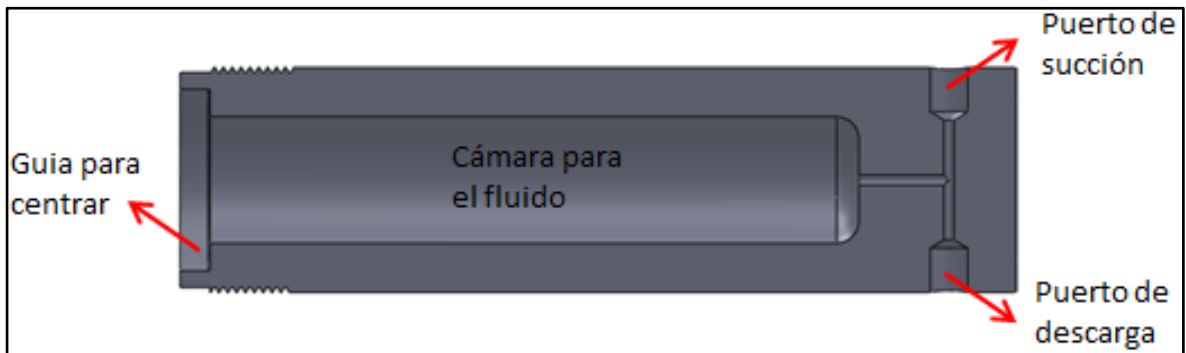
Figura 89. Primer Planteamiento Cámara de Bombeo



Fuente: Los Autores

El primer diseño que surgió presenta una gran dificultad en el mecanizado con las herramientas disponibles en el laboratorio de CNC del SENA, por lo que resulta conveniente que la cámara de bombeo sea independiente de la guía de la tuerca. Se modificó el único puerto en dos terminales independientes de succión y descarga, con la característica de estar conectados en un canal interno de esta pieza, evitando la concentración de esfuerzos directamente en la pared de la cámara de bombeo.

Figura 90. Segundo Planteamiento Cámara de Bombeo

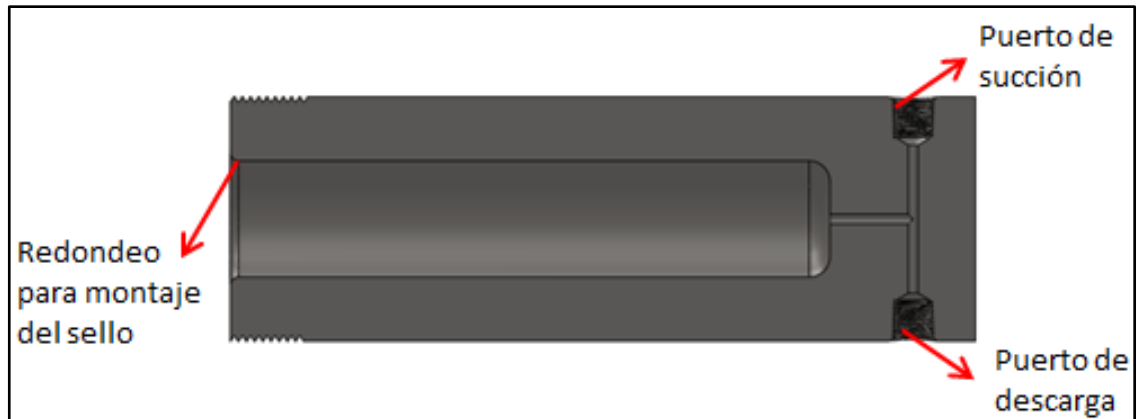


Fuente: Los Autores

Con el fin de aumentar el factor de seguridad el espesor de la pared de la cámara de bombeo se incrementó.

Para evitar que los esfuerzos se concentren sobre la guía para centrar, esta se debió eliminar del diseño, y se crea una pieza independiente (Separador Camisas) para centrar la cámara de bombeo con la camisa guía, evitando de esta forma que la rosca que une la cámara de bombeo se deforme al quedar a tope con la unión roscada en el elemento inmediatamente anterior (Camisa Guía).

Figura 91. Planteamiento final Cámara de Bombeo

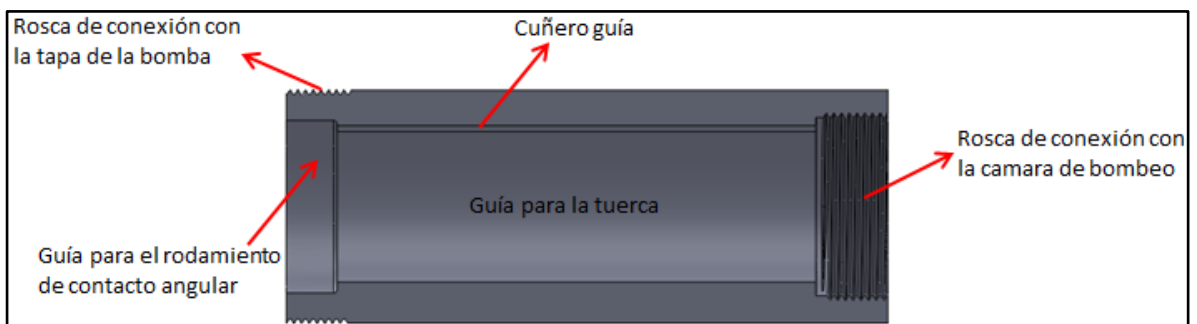


Fuente: Los Autores

3.7. DISEÑO DE LA CAMISA GUÍA

Esta pieza surge de modificar la idea original para el diseño de la cámara de bombeo, donde la función de guiar el desplazamiento de la tuerca fue enfocada para este elemento denominado Camisa Guía. Al ser un elemento intermedio entre la cámara de bombeo y la tapa de la bomba surgen dos roscas con el mismo paso en sus extremos para su respectiva conexión. Se adaptó un cuñero circular como guía de la Camisa de Desgaste de la Tuerca, que a su vez impide el giro de la Tuerca.

Figura 92. Primer planteamiento Camisa Guía



Fuente: Los Autores

Como la Camisa Guía resulta ser el elemento receptor del torque del tornillo, se crea la tendencia a ser girada sobre su eje longitudinal. Para contrarrestar esta acción se debe buscar un sistema que sujete la pieza con respecto a su posición en el banco de pruebas; contemplando la idea de una abrazadera recubierta con caucho para evitar su deslizamiento, sin embargo en el momento de ejercer el torque el material se recoge sobre la abrazadera.

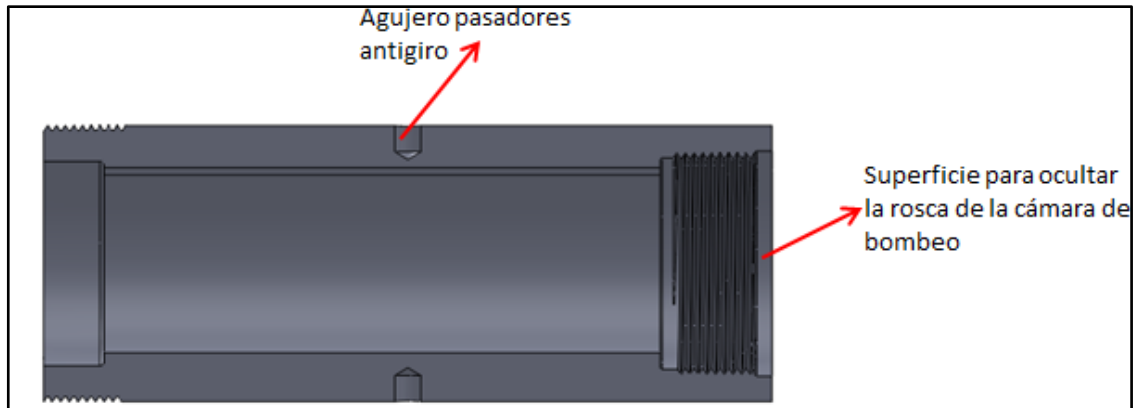
Figura 93. Prueba de agarre con Caucho



Fuente: Los Autores

Como opción alternativa la cual resultó ser acertada, consistió en crear una serie de cuatro taladrados en el centro de la Camisa Guía que permiten anclar esta pieza a una base por medio de pasadores.

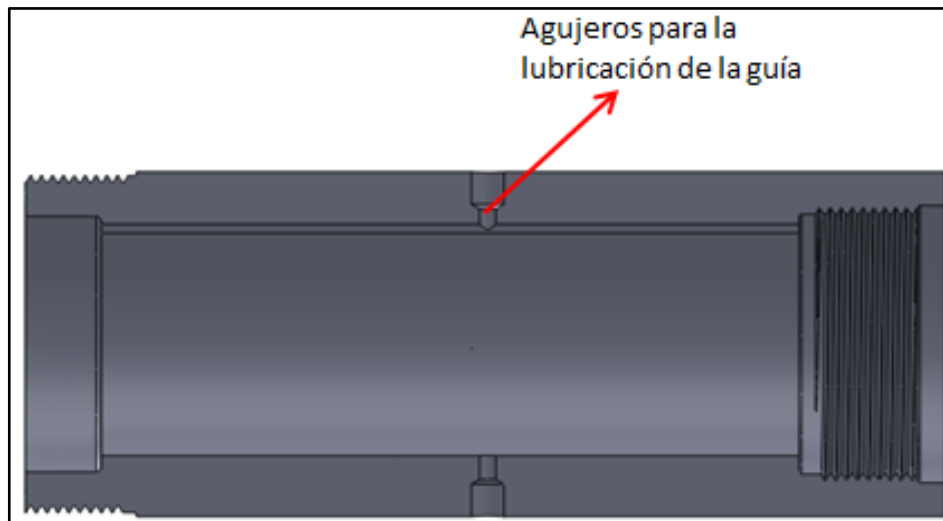
Figura 94. Segundo planteamiento Camisa Guía



Fuente: Los Autores

Con la necesidad de lubricar la guía para el desplazamiento del sistema que contiene la Tuerca se perforan cuatro agujeros pasantes de menor diámetro sobre el mismo eje de los agujeros para insertar los pasadores

Figura 95. Tercer planteamiento Camisa Guía

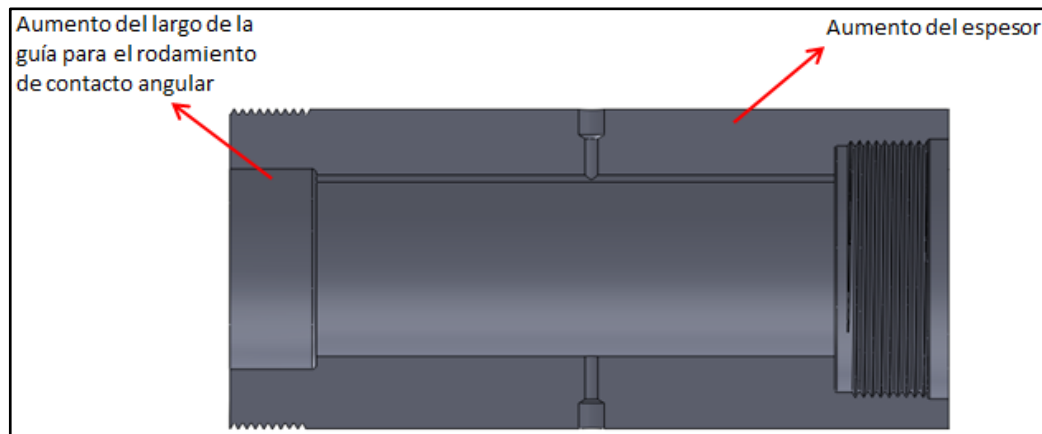


Fuente: Los Autores

Al realizar el estudio de esfuerzos se tuvo que aumentar el espesor de la camisa guía, debido que su deformación es apreciable como para evitar el

desplazamiento de la Camisa de Desgaste. Además se aumentó el espacio donde se aloja el rodamiento de contacto angular, al requerirse de una nueva pieza denominada “separador rodamiento - tuerca”, producto de modificar el largo de la Camisa de Desgaste que funciona como tope del desplazamiento de la Tuerca con el tornillo en la operación de succión.

Figura 96. Planteamiento final Camisa Guía



Fuente: Los Autores

Finalmente con el diseño de este perfil se obtiene un espacio utilizado por el conjunto de la bomba mayor que el planteado en el diseño original, sin embargo al realizar dos piezas con funciones independientes se facilita el mecanizado de estas sin dejar de lado el requerimiento del espacio ocupado por el conjunto de la bomba como un factor de gran importancia para las características técnicas del diseño.

El acero inoxidable AISI 304 utilizado para la manufactura de esta pieza, le permite una vida útil prolongada debido a que es un material inoxidable.

Figura 97. Perfil Camisa Guía



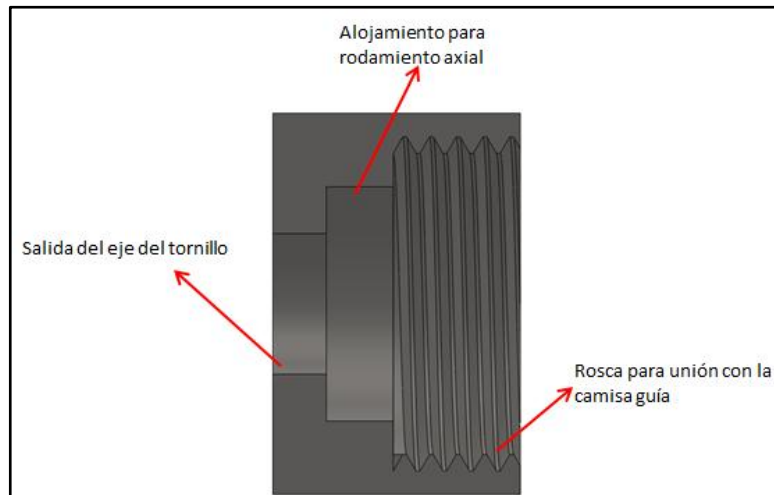
Fuente: Los Autores

3.8. DISEÑO DE LA TAPA DE LA BOMBA

La función de este dispositivo es cerrar el sistema interno de la bomba, incluyendo la capacidad para soportar en conjunto con la Camisa Guía, la reacción de la fuerza axial producto de la presión generada en la Cámara de Bombeo.

Al estar esta pieza expuesta al ambiente se sugiere su manufactura en acero inoxidable AISI 304.

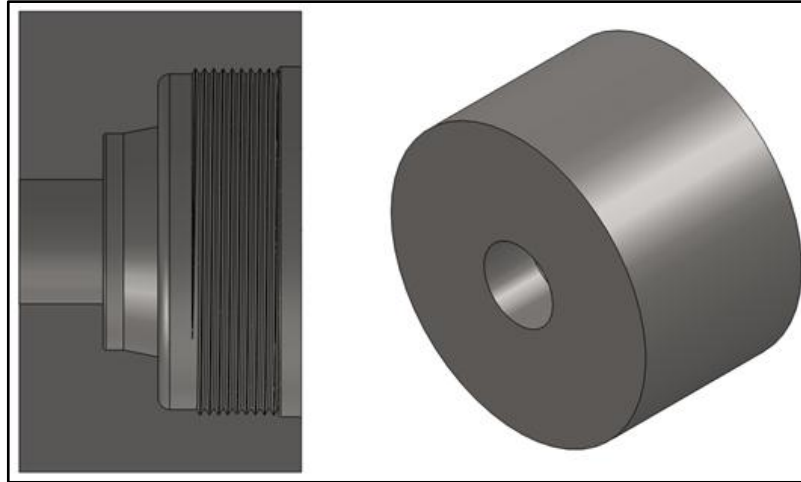
Figura 98. Primer planteamiento de la Tapa de la Bomba



Fuente: Los Autores

En la evolución que presentaban los componentes del diseño, se modificó igualmente la geometría de esta pieza manteniendo su estructura original, enfocados en el hecho de aliviar los esfuerzos transmitidos sobre ella y de esta forma aumentar el factor de seguridad.

Figura 99. Planteamiento Final de la Tapa de la Bomba



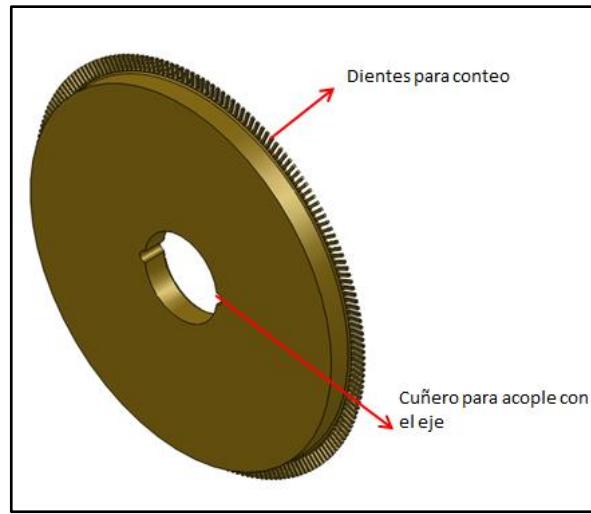
Fuente: Los Autores

3.9. DISEÑO DEL CONTADOR

El diseño de la bomba estuvo encaminado a lograr un conjunto compacto y con el menor número de piezas, debido a esto no hay un elemento exterior al conjunto que permita visualizar la cantidad de fluido disponible en la Cámara de Bombeo.

Se propuso entonces acoplar un dispositivo sencillo que consiste en un anillo dentado, que permitiera medir el volumen desplazado por cada paso de un diente, sin embargo ajustar un sensor para la lectura de cada uno de estos dientes incurría en un costo elevado, requiriendo acoplar nuevos accesorios en la estructura de la bomba, aparte del espacio para los dispositivos electrónicos o mecánicos que debieran ser adaptados.

Figura 100. Primer planteamiento contador

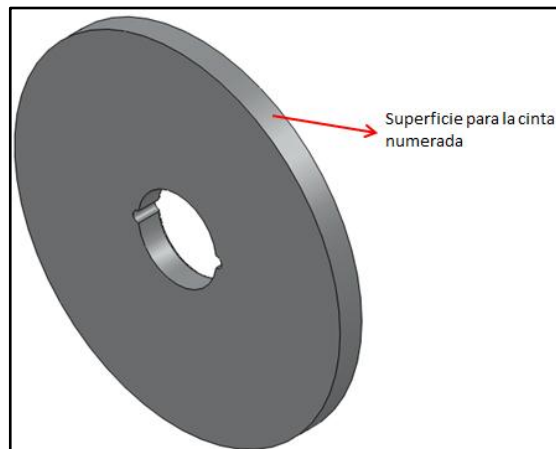


Fuente: Los Autores

Se optó por suprimir los dientes dejando una superficie totalmente lisa, para adaptarle una cinta numerada con la cual se puede determinar de forma manual el volumen desplazado de la bomba y reconocer el inicio y final de la carrera del pistón.

El material del contador fue cambiado de bronce latón a aluminio debido a su elevado costo, el cual excedía los \$240000 pesos colombianos.

Figura 101. Planteamiento final contador



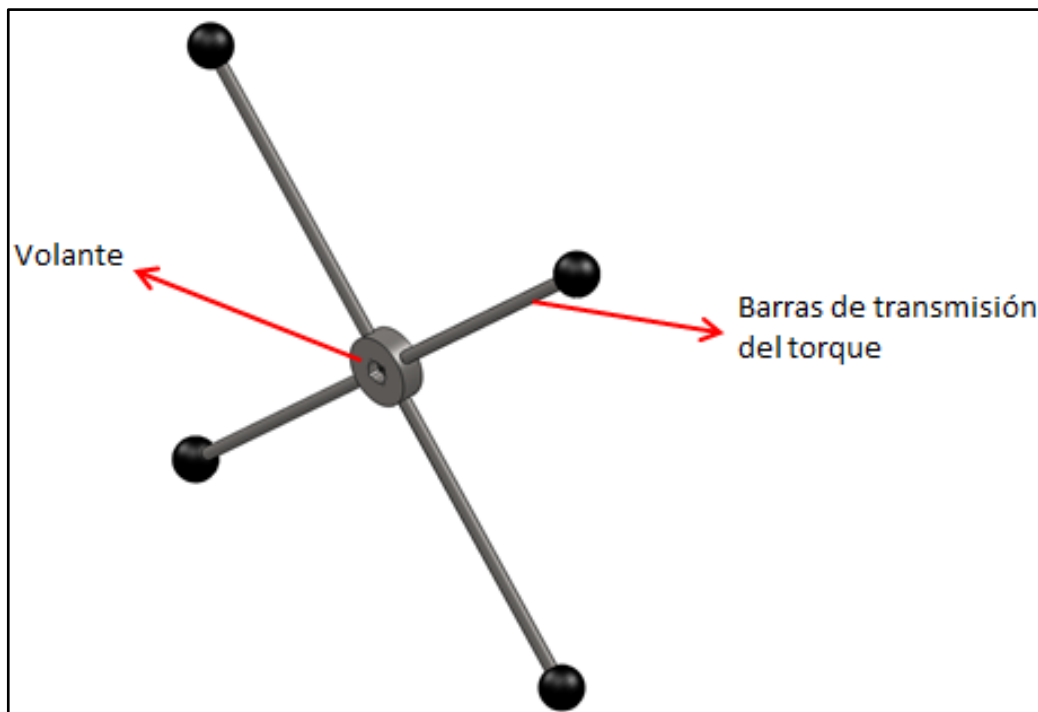
Fuente: Los Autores

3.10. DISEÑO DEL CONJUNTO TRANSMISOR DEL TORQUE

El alcance de los objetivos del proyecto está orientado a un sistema de transmisión manual, que permita al operario ejercer el mínimo de fuerza para la presión máxima de diseño (10000 psi). Surge la necesidad de diseñar un conjunto de elementos sencillos que permitan adaptarse al sistema de transmisión de potencia previamente diseñado.

Se planteó un sistema en forma de cruz conformado por cuatro barras ancladas a un volante, que a su vez se fija por medio de cuñeros al Tornillo de Potencia.

Figura 102. Conjunto transmisor del torque



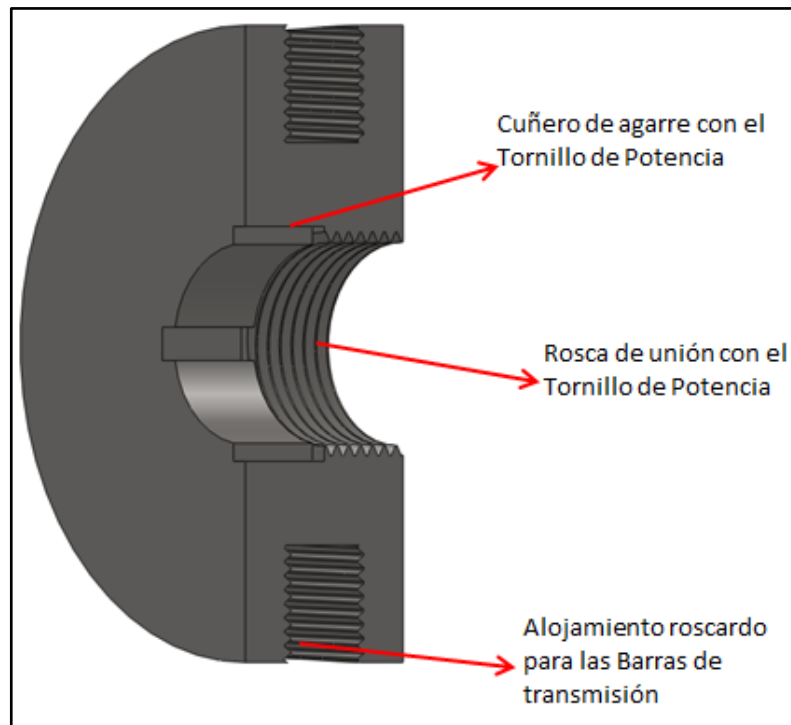
Fuente: Los Autores

3.10.1. Diseño del volante

La geometría de los agujeros roscados de esta pieza se proyectó de tal manera que permitiera un ajuste de las barras para transmitir el torque y el anclaje del Tornillo de Potencia, resultando en una operación para el mecanizado algo

tediosa; al tratarse del acero inoxidable AISI 304 cuyos elementos aleantes dificultan la operación de roscado, sin embargo este material no le permite a la pieza reaccionar químicamente con el ambiente.

Figura 103. Primer planteamiento Volante

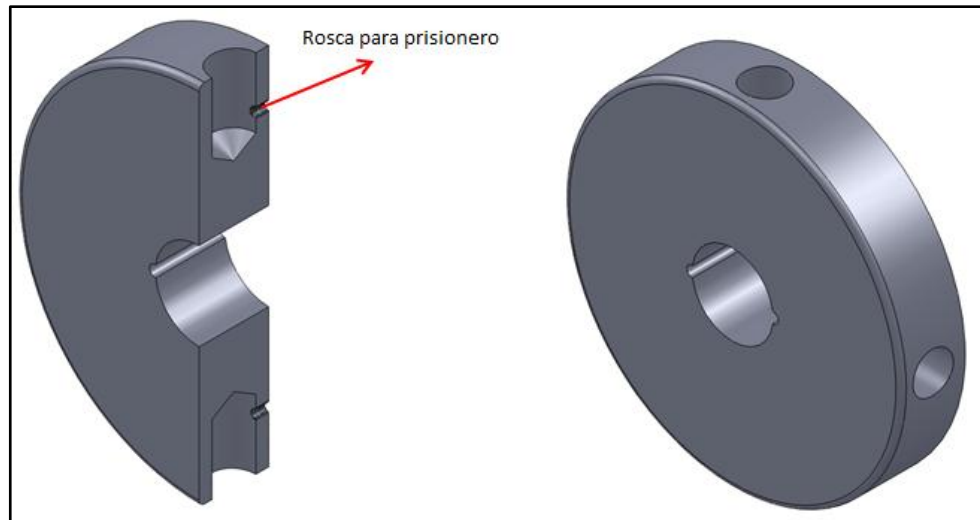


Fuente: Los Autores

Para facilitar la manufactura se eliminan las roscas de los taladrados en el Volante correspondiente al montaje de las Palancas para Torque, remplazándolas por cuatro agujeros excéntricos roscados en la superficie posterior del elemento que permiten adaptarle un tornillo prisionero entre las Barras para Torque y el Volante.

Además se modificaron los cuatro cuñeros cuadrados por dos de forma cilíndrica los cuales son suficientes para transmitir el torque.

Figura 104. Planteamiento final Volante

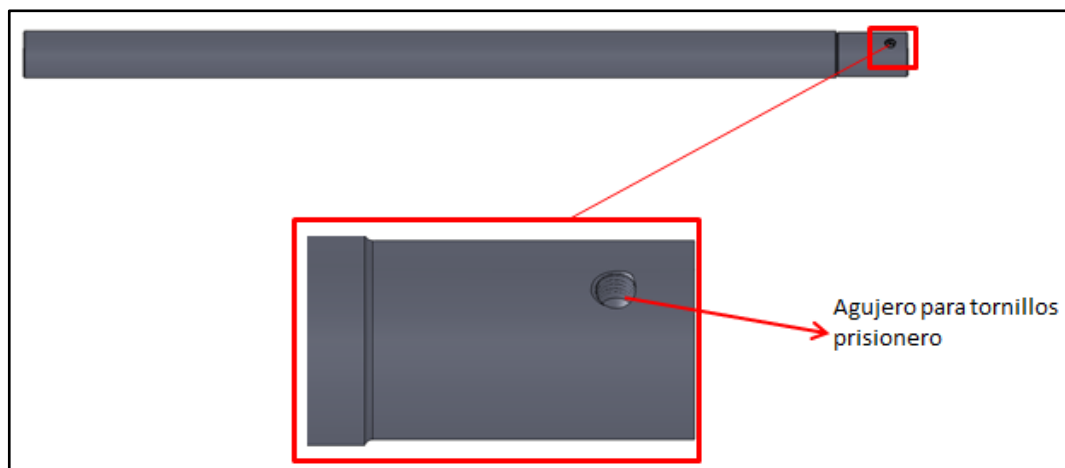


Fuente: Los Autores

3.10.2. Diseño de las Palancas para Torque

El diseño consistió en tomar un eje cilíndrico en acero AISI 4140, estableciendo la mejor proporción entre longitud y diámetro, para evitar su deformación al transmitir el torque, incluyendo un taladrado en uno de sus extremos donde ingresa un tornillo prisionero previendo que se deslicen del Volante.

Figura 105. Palancas para Torque



Fuente: Los Autores

3.11. DISEÑO DE LAS BASES DE LA BOMBA

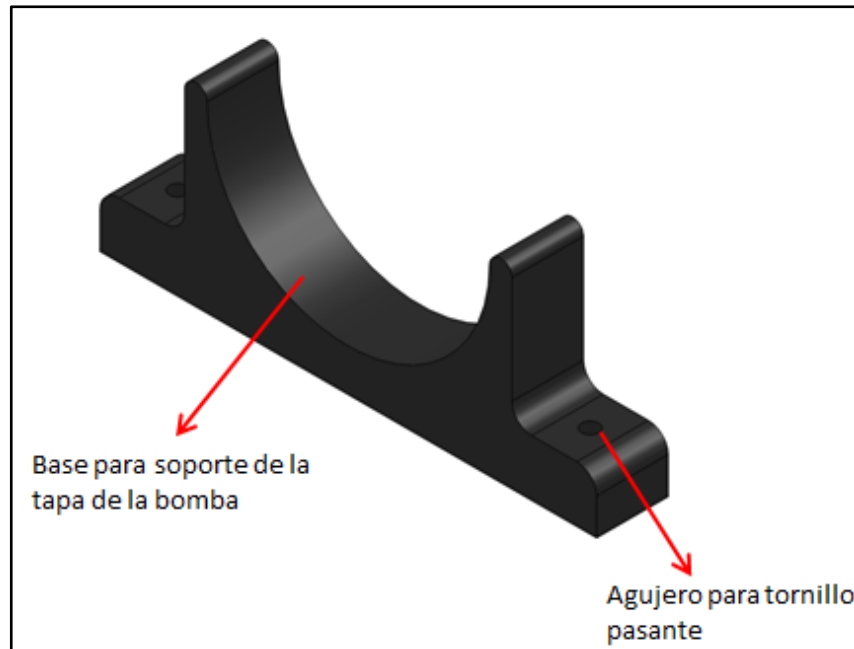
El diseño cuenta con tres piezas fundamentales que encierran el mecanismo interno de la bomba por medio del ensamble de la Cámara de Bombeo, la Camisa Guía y la Tapa de la Bomba; para las cuales se propuso diseñar un tipo de soporte independiente denominados bases.

Se estableció como material para la manufactura de las tres bases el acero al carbono 1045, por su gran resistencia y buena maquinabilidad; al que se le dio un acabado superficial con pintura electrostática para evitar su oxidación.

3.11.1. Diseño de la Base Frontal

Su diseño esta sujeto al cambio del diámetro exterior de la Tapa de la Bomba, donde su función es soportar parte del peso del conjunto de la bomba y la fuerza que ejerce el operario al transmitir el torque. Su ubicación coincide con la posición interna del rodamiento de contacto angular.

Figura 106. Base Frontal



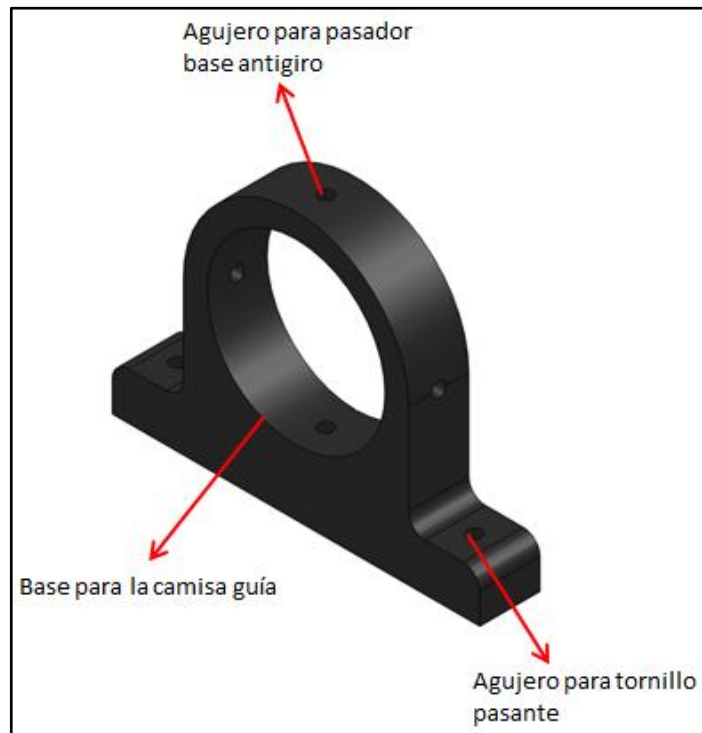
Fuente: Los Autores

3.11.2. Diseño de la Base Antigiro

Su diseño esta sujeto al cambio del diámetro exterior de la Camisa Guía, donde su función es soportar parte del peso del conjunto de la bomba e impedir el giro de la Camisa Guía, donde se presenta la salía del torque que ejerce el operario.

Se ubica en el centro del cuerpo de la Camisa Guía ajustándola con los Pasadores Antigiro.

Figura 107. Base Antigiro

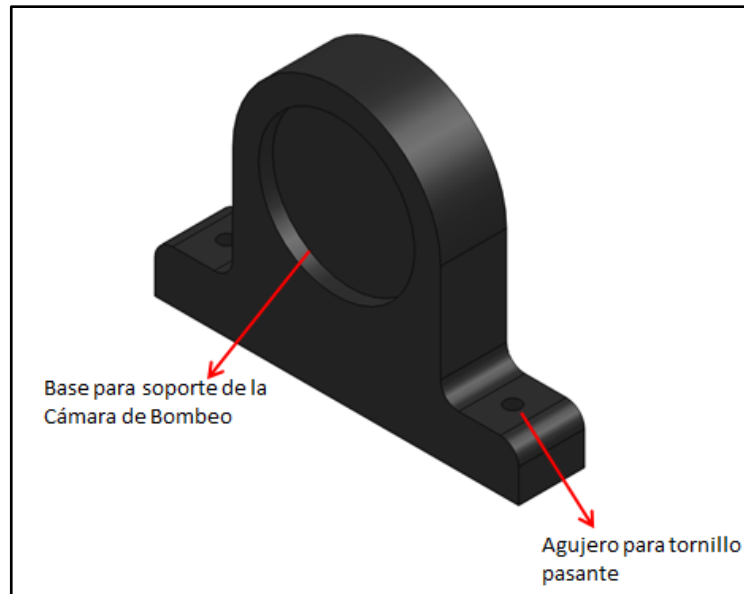


Fuente: Los Autores

3.11.3. Diseño de la Base Posterior

Se diseñó bajo el criterio de ser el soporte la Cámara de Bombeo, donde la geometría depende del diámetro exterior de ésta. Se ubica en el extremo libre del conjunto de la bomba que coincide con los puertos de succión y de descarga.

Figura 108. Base Posterior

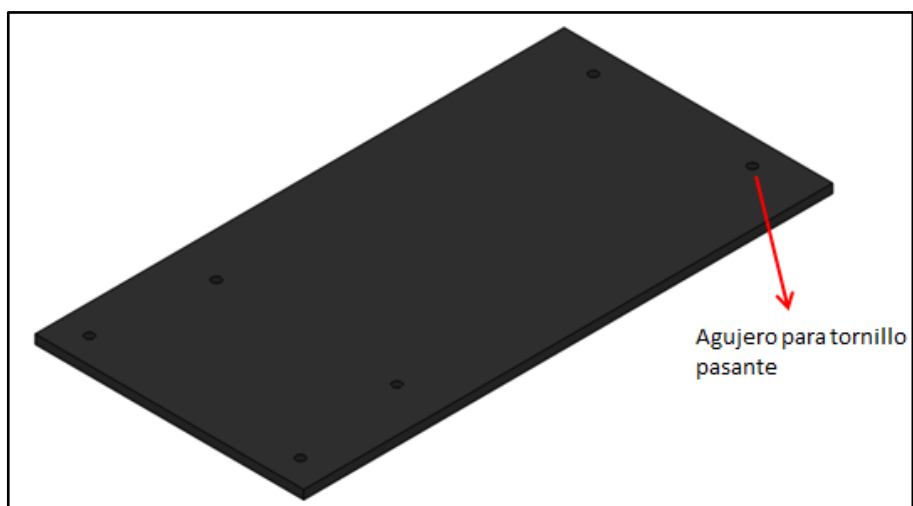


Fuente: Los Autores

3.11.4. Diseño de la Base de Apoyo Inferior

Es el elemento responsable de fijar las bases mencionadas anteriormente, mediante tornillos pasante que van sujetos a la estructura del banco.

Figura 109. Base de apoyo Inferior



Fuente: Los Autores

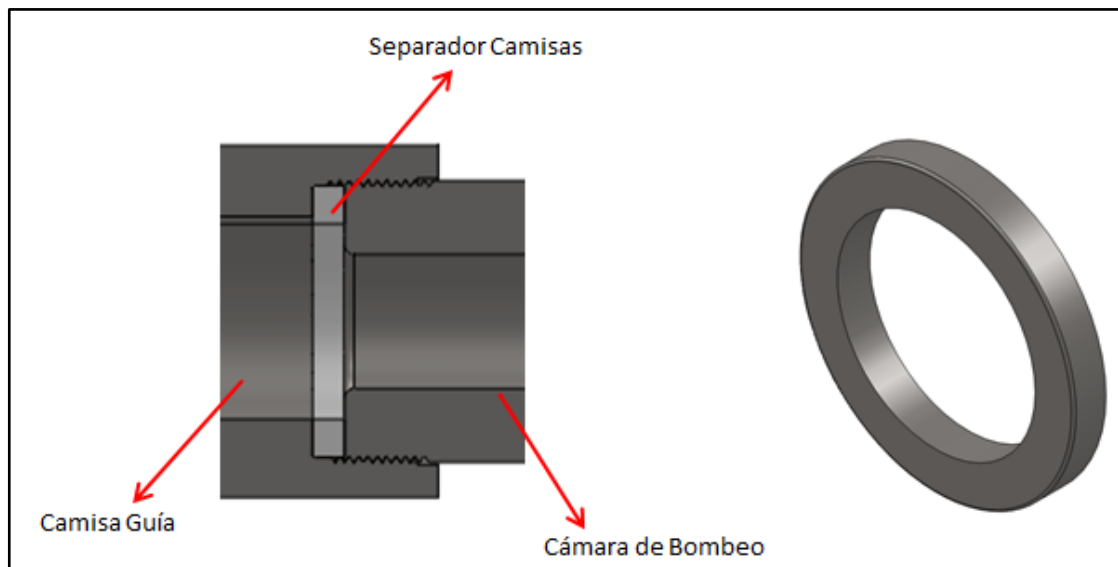
3.12. DISEÑO DE SEPARADORES

Son anillos de poco espesor en acero inoxidable AISI 304, que surgen del diseño de otros elementos.

3.12.1. Diseño del Separador Camisas

Es un elemento que se presenta de modificar la cámara de bombeo en el extremo roscado, el cual permite alinear la camisa guía con la cámara de bombeo antes de que la salida de una rosca se ajuste con la entrada de la otra.

Figura 110. Separador Camisas

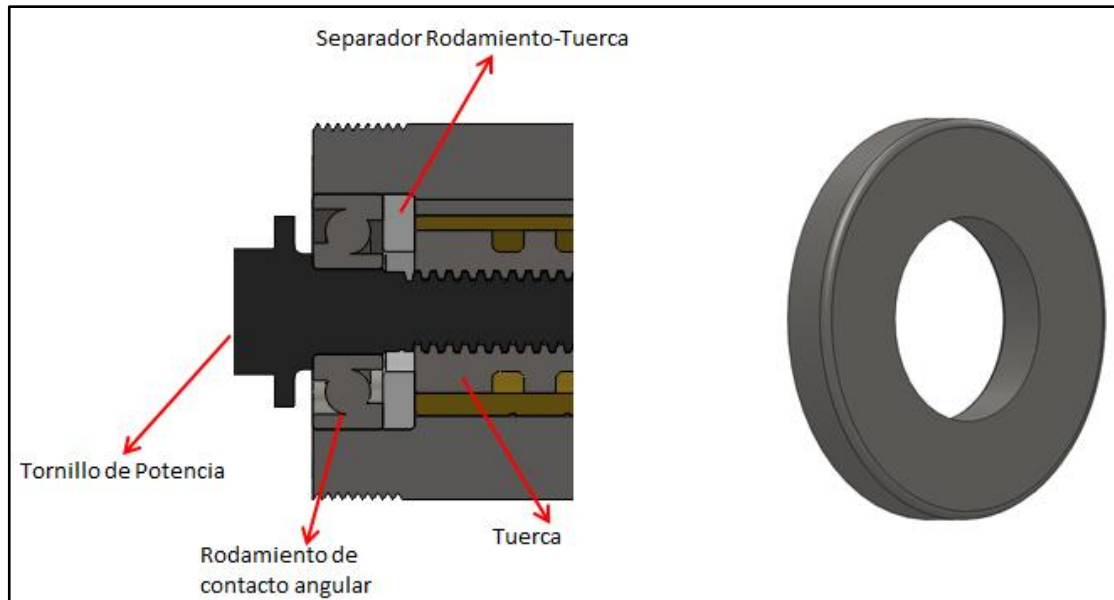


Fuente: los Autores

3.12.2. Diseño del separador Rodamiento-Tuerca

Al modificarse la longitud de la camisa de desgaste para cubrir la superficie de la Tuerca y el Vástago, se crea este elemento con el fin de generar el tope con la Tuerca, de esta manera los filetes de la rosca de esta última pieza no se bloquean con la salida de la rosca del tornillo durante el proceso de succión.

Figura 111. Separador Rodamiento - Tuerca



Fuente: Los Autores

3.13. DISEÑO DE SUJETADORES Y EJES PARA CUÑEROS

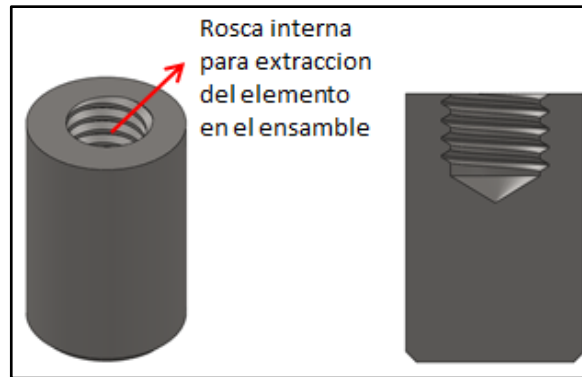
3.13.1. Diseño del Pasador Tuerca-Camisa de Desgaste

Este elemento no se consideraba como una pieza del diseño hasta el momento en que se buscó la forma de sujetar la Tuerca a la Camisa de Desgaste, restringiendo igualmente el giro relativo entre estas piezas.

Su geometría es relativamente simple, consta de un cuerpo cilíndrico en acero inoxidable AISI 304, con un roscado interno que permite introducir un tornillo para su extracción luego del ensamble en la Camisa de Desgaste.

Las modificaciones tuvieron lugar en lograr un diámetro razonable para soportar el torque que se transmite desde la Tuerca y el esfuerzo que se genera al impedir el giro relativo entre la Tuerca y la Camisa de Desgaste.

Figura 112. Pasador Tuerca-Camisa de Desgaste

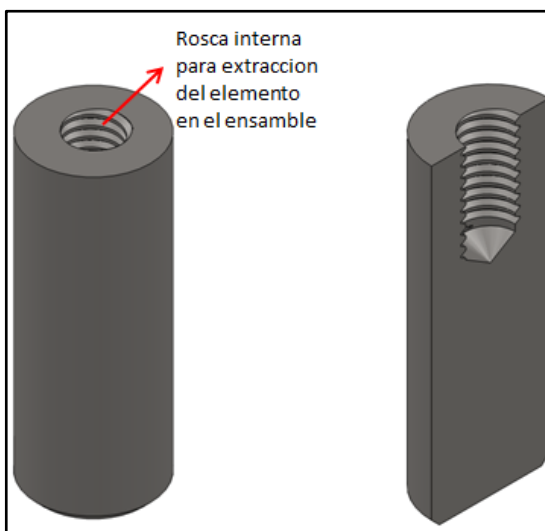


Fuente: Los Autores

3.13.2. Diseño del Pasador Antigiro

Aunque no se consideraba en la etapa inicial del proyecto, surgió de la necesidad de bloquear el giro de la Camisa Guía con respecto a la Base Antigiro. Consta de un agujero roscado para la inserción de un tornillo que sirve para la extracción de este elemento luego de haberse ejecutado el ensamble y de igual forma permite ubicar el agujero pasante sobre la Camisa Guía para inyectar el lubricante. Este pasador esta fabricado en acero inoxidable AISI 304.

Figura 113. Pasador Antigiro

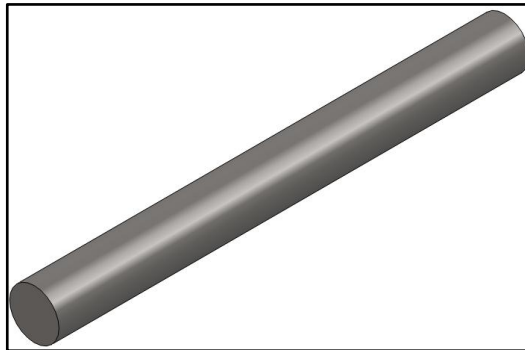


Fuente: Los Autores

3.13.3. Diseño de la Cuña Tornillo-Volante

Este dispositivo es un eje de acero inoxidable AISI 304 que permite fijar el volante para transmitir el torque al Tornillo de Potencia de la bomba.

Figura 114. Cuña Tornillo-Volante

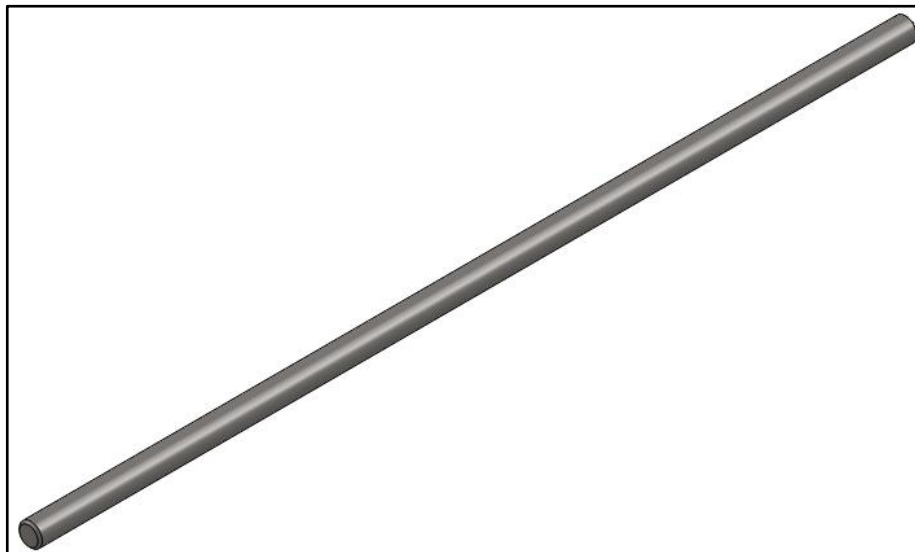


Fuente: Los Autores

3.13.4. Diseño de la cuña de la Camisa de Desgaste

Este dispositivo es un eje de acero inoxidable AISI 304 que permite guiar y evitar el giro de la Camisa de Desgaste.

Figura 115. Cuña de la Camisa de Desgaste



Fuente: Los Autores

3.14. SELECCIÓN DE RODAMIENTOS

3.14.1. Selección del Rodamiento Axial

El requerimiento de presión de 10000 psi ejerce una fuerza axial sobre el área transversal del Pistón, la cual se transmite sobre cada uno de los elementos que transforman el movimiento rotacional del Tornillo de Potencia en movimiento traslacional del Pistón; siendo una aleta en el tornillo el contacto directo con este tipo de rodamiento.

Para la selección del Rodamiento Axial se tuvieron en cuenta los siguientes parámetros:

- Fuerza axial = 9940.2 lb
- Diámetro exterior del tornillo: El diámetro interior del rodamiento debe tener como mínimo el diámetro externo del tornillo.

El rodamiento axial fue seleccionado del catálogo de “NSK rolling bearings”.

Figura 116. Rodamiento Axial



Fuente: catálogo de “NSK rolling bearings”

Procedimiento de selección:

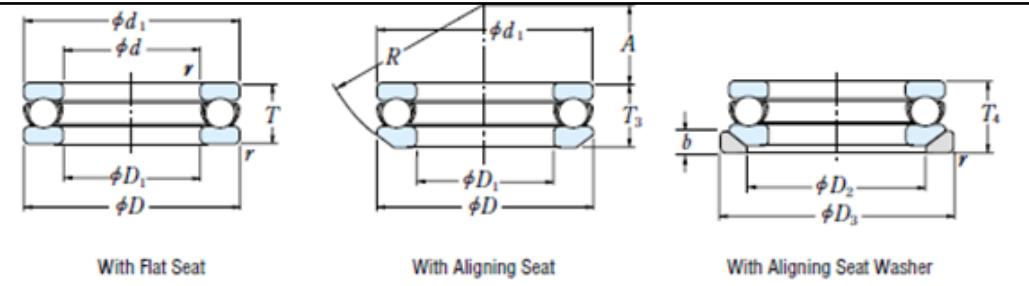
- Determinar la carga estática máxima que soporta el rodamiento.

$$C_{OA} = 9940.2 \text{ lb} = 4508.8 \text{ Kg}$$

- Selección del diámetro interior del rodamiento que soporta esta carga y cuya dimensión debe ser superior al diámetro exterior del tornillo ($d_{\min} = 15.875\text{mm}$). $d = 25 \text{ mm}$

- Del grupo de rodamientos correspondientes al diámetro interior seleccionado del catálogo ($d = 25 \text{ mm}$), se escoge aquel que soporta inmediatamente la carga C_{OA} . $C_{OA} = 5150 \text{ Kg}$; Código del rodamiento seleccionado **51205**, que corresponde a la imagen “con asiento plano” (with flat seat) indicado en la Figura 117

Figura 117. Selección Rodamiento Axial



Boundary Dimensions (mm)						Basic Load Ratings (N) (kgf)				Limiting Speeds (rpm)		With Flat Seat
d	D	T	T ₃	T ₄	r _{min}	C _a	C _{0a}	C _a	C _{0a}	Grease	Oil	
10	24	9	—	—	0.3	10 100	14 000	1 030	1 420	6 700	10 000	51100
	26	11	11.6	13	0.6	12 800	17 100	1 300	1 740	6 000	9 000	51200
12	26	9	—	—	0.3	10 400	15 400	1 060	1 570	6 700	10 000	51101
	28	11	11.4	13	0.6	13 300	19 000	1 350	1 940	5 600	8 500	51201
15	28	9	—	—	0.3	10 600	16 800	1 080	1 710	6 300	9 500	51102
	32	12	13.3	15	0.6	16 700	24 800	1 710	2 530	5 000	7 500	51202
17	30	9	—	—	0.3	11 400	19 500	1 170	1 990	6 000	9 000	51103
	35	12	13.2	15	0.6	17 300	27 300	1 760	2 780	4 800	7 500	51203
20	35	10	—	—	0.3	15 100	26 600	1 540	2 710	5 300	8 000	51104
	40	14	14.7	17	0.6	22 500	37 500	2 290	3 850	4 300	6 300	51204
25	42	11	—	—	0.6	19 700	37 000	2 010	3 800	4 800	7 100	51105
	47	15	16.7	19	0.6	28 000	50 500	2 860	5 150	3 800	5 600	51205
	52	18	19.8	22	1	36 000	61 500	3 650	6 250	3 200	5 000	51305
	60	24	26.4	29	1	56 000	89 500	5 700	9 100	2 600	4 000	51405

Fuente: catálogo de “NSK rolling bearings”

3.14.2. Selección del Rodamiento de Contacto Angular

Inicialmente se planteó un rodamiento radial de bolas, sin embargo se requirió de un rodamiento de contacto angular que además de soportar la carga radial, contrarreste la reacción del tornillo de potencia sobre el rodamiento en el momento de succión de la bomba.

Para la selección del Rodamiento de Contacto Angular se tuvieron en cuenta los siguientes parámetros:

- Fuerza radial: depende del apoyo del operario al ejercer la fuerza que genera el torque en el proceso de presurización.
- Diámetro exterior del tornillo: El diámetro interior del rodamiento debe tener como mínimo el diámetro externo del tornillo.

El rodamiento axial fue seleccionado del catálogo de “NSK rolling bearings”.

Figura 118. Rodamiento de Contacto Angular



Fuente: catálogo de “NSK rolling bearings”

Procedimiento de selección:

- Selección del diámetro interior del rodamiento que corresponda con el diámetro mínimo del tornillo de potencia ($d_{\min} = 15.875 \text{ mm}$).

$d = 17 \text{ mm}$

- Del grupo de rodamientos correspondientes al diámetro interior seleccionado del catálogo ($d = 17 \text{ mm}$), se escoge aquel cuyo diámetro exterior es mayor al diámetro exterior de la camisa de desgaste ($D_{\min} = 41.6 \text{ mm}$).

$D = 47 \text{ mm}$

- Por último se revisa la carga que puede soportar el rodamiento, que no debería ser inferior a la fuerza promedio ejercida por el operario.

$C_{OR} = 820 \text{ Kg}$, para el código del rodamiento seleccionado **7303B**, que corresponde a la imagen “sencilla” (single) indicado en la Figura 119. La letra “B” representa un contacto de las bolas en la superficie circular interna de la pista de $\alpha = 40^\circ$, con un menor costo que la opción del rodamiento **7303A** con un contacto de las bolas en la superficie circular interna de la pista de $\alpha = 30^\circ$.

Figura 119. Selección Rodamiento de Contacto Angular

ANGULAR CONTACT BALL BEARINGS

SINGLE/MATCHED MOUNTINGS

Bore Diameter 10~17 mm

Single Back-to-Back DB Front-to-Front DF Tandem DT

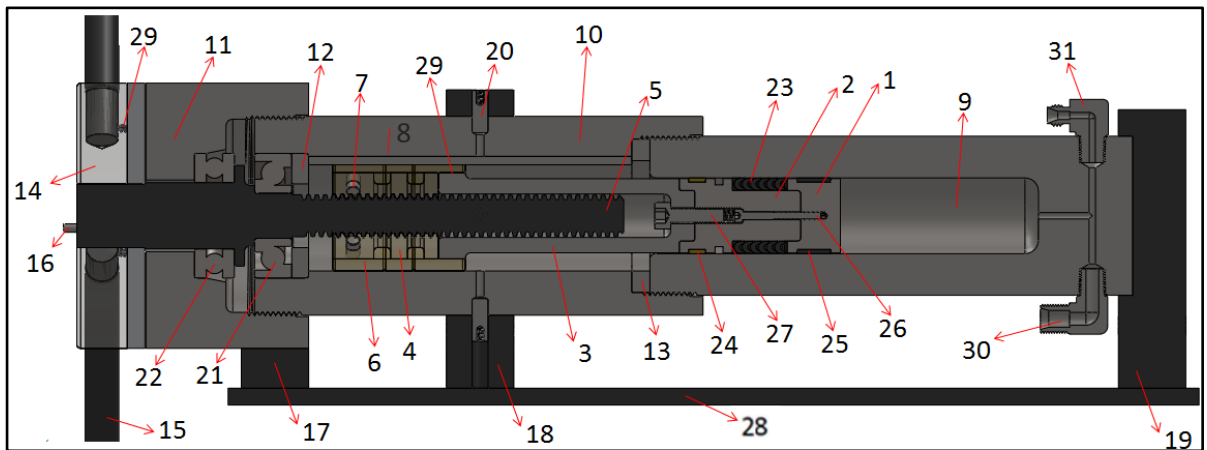
Boundary Dimensions (mm)			Basic Load Ratings (Single) (N)				Factor		Limiting Speeds (1) (rpm)		Eff. Load Centers (mm)	Abutment and Fillet Dimensions (mm)			Mass (kg)	Bearing Numbers (2)				
d	D	B	$r_{\min}$	$r_{1\min}$	C_r	C_{0r}	C_r	C_{0r}	f_0	Grease	Oil	a	d_a min	D_a max	r_a max	approx	Single	Duplex		
10	22	6	0.3	0.15	2 880	1 450	294	148	—	40 000	56 000	6.7	12.5	19.5	0.3	0.009	7900 A5	DB	DF	DT
	22	6	0.3	0.15	3 000	1 520	305	155	14.1	48 000	63 000	5.1	12.5	19.5	0.3	0.009	7900 C	DB	DF	DT
	26	8	0.3	0.15	5 350	2 600	550	266	—	32 000	43 000	9.2	12.5	23.5	0.3	0.019	7000 A	DB	DF	DT
	26	8	0.3	0.15	5 300	2 490	540	254	12.6	45 000	63 000	6.4	12.5	23.5	0.3	0.021	7000 C	DB	DF	DT
	30	9	0.6	0.3	5 400	2 710	555	276	—	28 000	38 000	10.3	15	25	0.6	0.032	7200 A	DB	DF	DT
	30	9	0.6	0.3	5 000	2 500	510	255	—	20 000	28 000	12.9	15	25	0.6	0.032	7200 B	DB	DF	DT
	30	9	0.6	0.3	5 400	2 610	550	266	13.2	40 000	56 000	7.2	15	25	0.6	0.036	7200 C	DB	DF	DT
	35	11	0.6	0.3	9 300	4 300	950	440	—	20 000	26 000	12.0	15	30	0.6	0.053	7300 A	DB	DF	DT
	35	11	0.6	0.3	8 750	4 050	890	410	—	18 000	24 000	14.9	15	30	0.6	0.054	7300 B	DB	DF	DT
	35	11	0.6	0.3	8 750	4 050	890	410	14.7	45 000	63 000	5.4	14.5	21.5	0.3	0.021	7901 A5	DB	DF	DT
12	24	6	0.3	0.15	3 200	1 770	325	181	—	38 000	53 000	7.2	14.5	21.5	0.3	0.011	7901 C	DB	DF	DT
	24	6	0.3	0.15	3 350	1 860	340	189	—	45 000	63 000	5.4	14.5	21.5	0.3	0.011	7901 A	DB	DF	DT
	28	8	0.3	0.15	5 800	2 900	590	305	—	28 000	38 000	9.8	14.5	25.5	0.3	0.021	7001 C	DB	DF	DT
	28	8	0.3	0.15	5 800	2 900	590	305	13.2	40 000	56 000	6.7	14.5	25.5	0.3	0.024	7201 A	DB	DF	DT
	32	10	0.6	0.3	8 000	4 050	815	410	—	26 000	34 000	11.4	17	27	0.6	0.037	7201 B	DB	DF	DT
	32	10	0.6	0.3	7 450	3 750	760	380	—	18 000	26 000	14.2	17	27	0.6	0.038	7201 C	DB	DF	DT
	32	10	0.6	0.3	7 900	3 850	805	395	12.5	36 000	50 000	7.9	17	27	0.6	0.041	7201 A	DB	DF	DT
	37	12	1	0.6	9 450	4 500	965	460	—	18 000	24 000	13.1	18	31	1	0.060	7301 A	DB	DF	DT
	37	12	1	0.6	8 850	4 200	900	425	—	16 000	22 000	16.3	18	31	1	0.062	7301 B	DB	DF	DT
	37	12	1	0.6	8 850	4 200	900	425	14.5	32 000	43 000	8.5	17.5	25.5	0.3	0.015	7902 A5	DB	DF	DT
15	28	7	0.3	0.15	4 550	2 530	465	258	—	38 000	53 000	6.4	17.5	25.5	0.3	0.015	7902 C	DB	DF	DT
	28	7	0.3	0.15	4 750	2 640	485	270	—	45 000	63 000	5.4	17.5	25.5	0.3	0.015	7902 A	DB	DF	DT
	32	9	0.3	0.15	6 100	3 450	625	350	—	24 000	32 000	11.3	17.5	29.5	0.3	0.030	7002 C	DB	DF	DT
	32	9	0.3	0.15	6 250	3 400	635	345	14.1	34 000	48 000	7.6	17.5	29.5	0.3	0.034	7202 A	DB	DF	DT
	35	11	0.6	0.3	8 650	4 650	880	475	—	22 000	30 000	12.7	20	30	0.6	0.045	7202 B	DB	DF	DT
	35	11	0.6	0.3	7 950	4 300	810	440	—	16 000	22 000	16.0	20	30	0.6	0.046	7202 C	DB	DF	DT
	35	11	0.6	0.3	8 650	4 550	885	460	13.2	32 000	45 000	8.8	20	30	0.6	0.052	7302 A	DB	DF	DT
	42	13	1	0.6	13 400	7 100	1 370	720	—	16 000	22 000	14.7	21	36	1	0.084	7302 B	DB	DF	DT
	42	13	1	0.6	12 500	6 600	1 270	670	—	14 000	19 000	18.5	21	36	1	0.086	7302 C	DB	DF	DT
	42	13	1	0.6	12 500	6 600	1 270	670	14.8	30 000	40 000	9.0	19.5	27.5	0.3	0.017	7903 A5	DB	DF	DT
17	30	7	0.3	0.15	4 750	2 800	485	286	—	34 000	48 000	6.6	19.5	27.5	0.3	0.017	7903 C	DB	DF	DT
	35	10	0.3	0.15	6 400	3 800	655	390	—	22 000	30 000	12.5	19.5	32.5	0.3	0.040	7003 A	DB	DF	DT
	35	10	0.3	0.15	6 600	3 800	675	390	14.5	32 000	43 000	8.5	19.5	32.5	0.3	0.044	7203 A	DB	DF	DT
	40	12	0.6	0.3	10 800	6 000	1 100	610	—	20 000	28 000	14.2	22	35	0.6	0.067	7203 B	DB	DF	DT
	40	12	0.6	0.3	9 950	5 500	1 010	565	—	14 000	19 000	18.0	22	35	0.6	0.068	7203 C	DB	DF	DT
	40	12	0.6	0.3	10 900	5 850	1 110	595	13.3	28 000	38 000	9.8	22	35	0.6	0.075	7303 A	DB	DF	DT
	47	14	1	0.6	15 900	8 650	1 630	880	—	14 000	19 000	16.2	23	41	1	0.116	7303 B	DB	DF	DT
	47	14	1	0.6	14 900	8 000	1 510	820	—	13 000	17 000	20.4	23	41	1	0.118	7303 C	DB	DF	DT

Fuente: catálogo de “NSK rolling bearings”

3.15. ELEMENTOS QUE CONSTITUYEN EL DISEÑO DEL PROTOTIPO DE BOMBA MANUAL DE DESPLAZAMIENTO POSITIVO

Con la finalidad de visualizar los elementos internos que constituyen el prototipo de bomba, se describe en la siguiente figura mediante un corte longitudinal, la ubicación de cada una de las piezas.

Figura 120. Elementos que conforman el prototipo de Bomba de Desplazamiento Positivo



Fuente: Los Autores

En la siguiente tabla se enumeran los elementos que pueden se ubicados en la figura anterior.

Figura 121. Elementos que conforman el Prototipo de Bomba de Desplazamiento Positivo

ITEM	ELEMENTO
1	Pistón tapa
2	Pistón
3	Vástago
4	Tuerca
5	Tornillo
6	Camisa de Desgaste
7	Pasador Tuerca-Camisa de Desgaste
8	Cuña de la Camisa de Desgaste
9	Cámara de Bombeo
10	Camisa Guía
11	Tapa de la Bomba
12	Separador Rodamiento-Tuerca
13	Separador Camisas
14	Volante
15	Palanca para Torque
16	Cuña Tornillo-Volante

17	Base Frontal
18	Base Antigiro
19	Base Posterior
20	Pasador Anti-Giro
21	Rodamiento 7303B
22	Rodamiento 51205
23	Vee-packing VS07503X082
24	Guía flexible 606T-025
25	Guía fija 606-112-050
26	Tornillo M3
27	Tornillo M6
28	Base de Apoyo Inferior
29	Prisionero M3
30	Racor de Succión
31	Racor de Descarga

Fuente: Los Autores

4. ADECUACIÓN DEL BANCO PARA PRUEBAS DE INTEGRIDAD EN TUBERÍA DE TRANSPORTE DE HIDROCARBUROS

El banco de pruebas de integridad en tubería de transporte de hidrocarburos, se ideó en tres etapas:

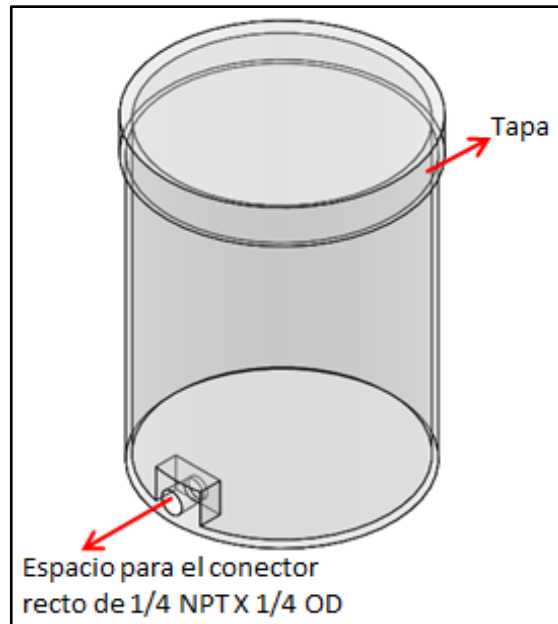
- La primera que consistió en el diseño del prototipo de bomba de desplazamiento positivo para el sistema de presurización de la tubería el cual fue descrito en el capítulo uno. Incluye la selección de accesorios y tubing necesarios para las líneas hidráulicas de succión y de alta presión.
- La segunda etapa planteada consistió en el diseño del reservorio para el sistema de llenado de la tubería y la selección de los accesorios que permiten el transporte de fluido a la sección de prueba.
- La tercera estuvo enfocada al diseño de la estructura que contiene todos los elementos del banco de pruebas.

4.1. DISEÑO Y SELECCIÓN DE ACCESORIOS PARA EL SISTEMA DE PRESURIZACIÓN

4.1.1. Diseño del tanque de almacenamiento para la bomba de desplazamiento positivo.

Por las características del funcionamiento de la bomba de desplazamiento positivo se requirió un tipo de reservorio exclusivo para ésta; logrando suministrar una cantidad suficiente de fluido a la bomba en el momento que se requiera, pues tiene una capacidad de 3.17 L en comparación con los 50 cc disponibles en la Cámara de Bombeo. El material seleccionado fue acrílico, que no reacciona químicamente con el ambiente, ni con el fluido de prueba (agua).

Figura 122. Tanque de almacenamiento en acrílico para el sistema de alta presión



Fuente: Los Autores

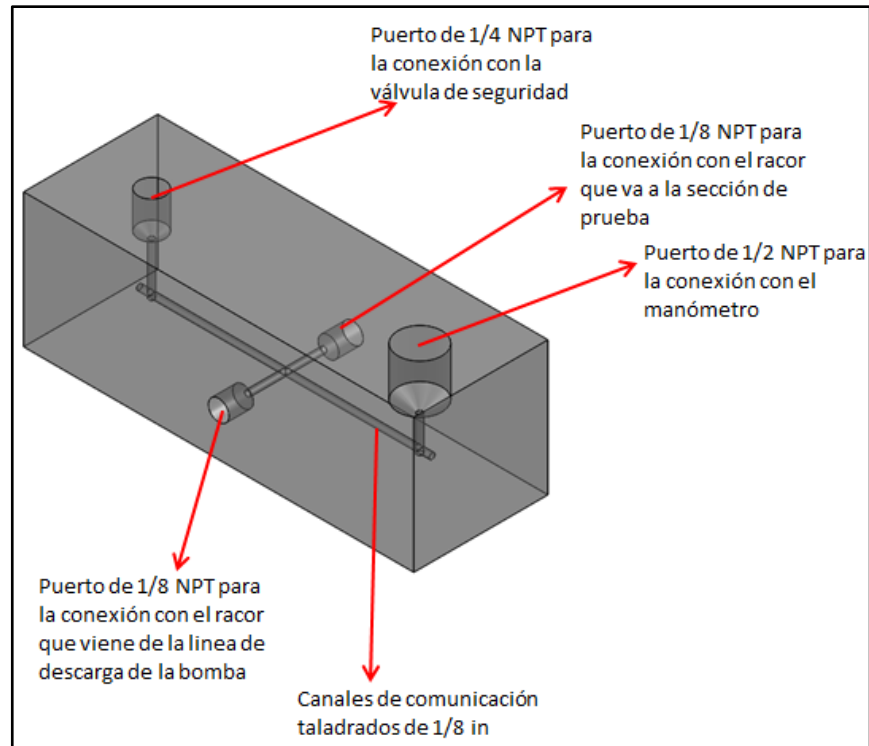
4.1.2. Diseño del Manifold

Este elemento tiene como función conectar la línea de alta presión proveniente de la bomba de desplazamiento positivo, con un manómetro para sensor el valor de la presión alcanzada en determinado momento, con válvula de seguridad tarada entre 5000 – 6000 psi, y una línea que continua hacía la sección de prueba.

Este dispositivo fue diseñado en acero AISI 1045, por tener una buena maquinabilidad y un limite de fluencia considerable para soportar el requerimiento máximo de presión ($P_{\text{máx}} = 10000$ psi).

Inicialmente se realizo un diseño geométrico de una barra cuadrada con cuatro perforaciones, para albergar el manómetro, la válvula de seguridad y dos racores para las líneas de presión, que por su forma se requería de varios procesos de mecanizado.

Figura 123. Primer planteamiento Manifold

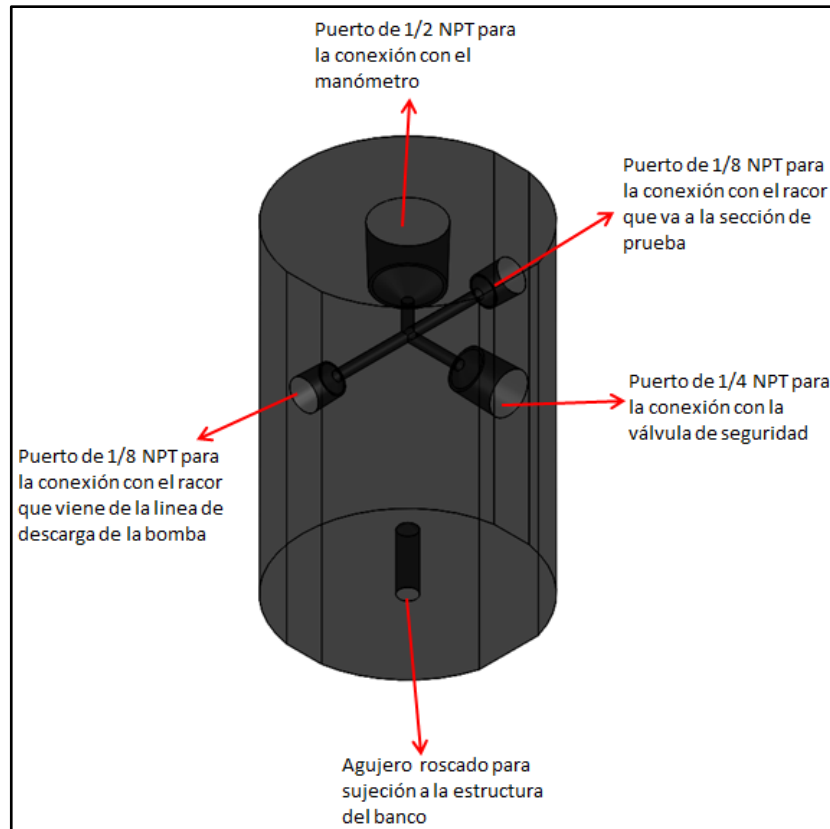


Fuente: Los Autores

Este diseño fue descartado por el hecho que conseguir un eje cuadrado con las dimensiones que se necesitan es complicado y costoso. Otra posibilidad sería maquinar un eje circular en una fresa hasta alcanzar las dimensiones requeridas, lo que conlleva a un gasto innecesario de material, mayor tiempo de maquinación y un costo alto.

Finalmente tras variar modificaciones en el diseño y diferentes geometrías propuestas se obtuvo un cuerpo cilíndrico, con las mismas conexiones del diseño anterior pero mejor distribuidas para hacer del proceso de mecanizado algo más sencillo y eficiente, resultado como operaciones relativamente complicadas los procesos correspondiente a los roscados NPT para los racores, los cuales no se pueden obviar sea el diseño que se escoja.

Figura 124. Planteamiento final Manifold



Fuente: Los Autores

4.1.3. Selección de accesorios

Se busco que el material para los accesorios del sistema de presurización fuera resistente a la oxidación y corrosión. Partiendo de este hecho se tomaron los accesorios para instrumentación en acero inoxidable AISI 316 L que ofrece el fabricante HAMLET.

El tipo de racores que fueron seleccionados del fabricante Hamlet corresponden a la categoría LET-LOK, para su uso en entornos de alta presión y sensibilidad, tales como en la industria petroquímica, transporte de fluidos e industria nuclear. Este tipo de racor para tubo LET-LOK es un mecanismo utilizado tanto para cerrar

como para asegurar los tubos. La ventaja mecánica y la geometría de este tipo de instalaciones producen un montaje anti escape ajustado.

– **Selección de la tubería de succión:** Se busco que el diámetro para esta línea fuera mayor que el diámetro de la línea de descarga, tomando un diámetro estandarizado de 1/4 in, con un espesor $t = 0.065$ in que soporta una presión de servicio de 10300 psi.

– **Selección de la tubería de descarga:** Debido a que la bomba de desplazamiento positivo cuenta con la capacidad de bombear 50 cc en un carrera del pistón, se busco que el diámetro del tubing tuviera un valor de 1/8 in, con el fin de cubrir la menor cantidad de fluido en el trayecto de la línea de descarga; para el cual se seleccionó un espesor $t = 0.035$ in que soporta una presión de servicio de 10950 psi.

Figura 125. Selección Tubing 1/4 in - 1/8 in

LET-LOK RACORES PARA TUBO DE COMPRESIÓN																
INFORMACIÓN DE TUBO																
TABLA 1: TUBO DE ACERO INOXIDABLE EN PULGADA																
Tubo O.D.	GROSOR DE LA PARED DEL TUBO EN PULGADA															
plg	0.010	0.012	0.014	0.016	0.020	0.028	0.035	0.049	0.065	0.083	0.095	0.109	0.120	0.134	0.156	0.188
1/16	5600	6860	8150	9480	12080											
1/8						8550	10950									
3/16						5500	7100	10300								
1/4						4100	5200	7600	10300							
5/16							4100	5900	8100							
3/8							3350	4850	6550							
1/2							2650	3750	5150	6750						
5/8								2950	4050	5250	6050					
3/4								2450	3350	4250	4950	5850				
7/8								2050	2850	3650	4250	4850				
1									2400	3100	3600	4200	4700			
1 1/4										2400	2800	3300	3600	4100	4900	
1 1/2											2300	2700	3000	3400	4000	4900
2												2000	2200	2500	2900	3600

Tubo Recocido 304 o de acero inoxidable 316 que cumpla con ASTM A213, A269 o especificaciones equivalentes. Para la temperatura del metal de -20°F-100°F(-29°C-37°C). Información sobre pedidos sugerida: Tubos hidráulicos completamente recocidos de alta calidad (Tipo 304 o 316) de acero inoxidable ASTM A269 o A213 o su equivalente, sin costura o soldadura y elaborado con una dureza de 90HRB (200HV) o menos. El Tubo debe estar sin arañaduras y adecuado para ser abocinado y doblado.

Presión de servicio (psig) para tubos sin costura; Multiplique Presión de servicio por .80 para tubos soldados simples. Multiplique Presión de servicio por .85 para tubos soldados dobles.

Fuente: Catálogo HAMLET

– **Selección de los conectores rectos:**

- ✓ Se seleccionaron tres conectores rectos 1/4 NPT x 1/4 OD para las conexiones en el tanque de almacenamiento y la válvula Check de la línea de succión. La referencia de este dispositivo es 768L_1/4 X 1/4. Ver Figura 126.
- ✓ Se seleccionaron tres conectores rectos 1/8 NPT x 1/8 OD, dos para la conexión de la entrada y salida de la línea de presión en el manifold y uno para el dispositivo de prueba. La referencia de este dispositivo es 768L_1/8 X 1/8. Ver Figura 126.
- ✓ Se seleccionaron 2 conectores rectos de 1/4 NPT x 1/8 OD, para la conexión de la línea de 1/8 a la válvula check en el sistema de presurización. La referencia de este dispositivo es 768L_1/8 X 1/4. Ver Figura 126.

Figura 126. Selección conector macho

LET-LOK RACORES DE COMPRESIÓN

768 L
CONECTOR MACHO

(Continuación)

TUBO (PULGADA) A ROSCA MACHO NPT													
Información de pedido	A Tubo O.D.		T (NPT)	D		W Plano Hexagonal		N		L		I	
	plg	mm		plg	mm	plg	mm	plg	mm	plg	mm	plg	mm
768L _ 1/16 X 1/16	1/16	1.58	1/16	.05	1.27	5/16	.79	20.10	.94	23.88	.34	8.6	
768L _ 1/16 X 1/8	1/16	1.58	1/8	.05	1.27	7/16	.88	22.35	1.03	26.10	.34	8.6	
768L _ 1/16 X 1/4	1/16	1.58	1/4	.05	1.27	9/16	1.07	27.17	1.22	30.98	.34	8.6	
768L _ 1/8 X 1/16	1/8	3.17	1/16	.09	2.28	7/16	.91	23.11	1.17	29.71	.50	12.7	
768L _ 1/8 X 1/8	1/8	3.17	1/8	.09	2.28	7/16	.94	23.90	1.20	30.48	.50	12.7	
768L _ 1/8 X 1/4	1/8	3.17	1/4	.09	2.28	9/16	1.14	28.95	1.40	35.56	.50	12.7	
768L _ 1/8 X 3/8	1/8	3.17	3/8	.09	2.28	11/16	1.15	29.21	1.41	35.81	.50	12.7	
768L _ 1/8 X 1/2	1/8	3.17	1/2	.09	2.28	7/8	1.40	35.56	1.66	42.16	.50	12.7	
768L _ 3/16 X 1/8	3/16	4.76	1/8	.12	3.04	7/16	.97	24.63	1.23	31.24	.54	13.7	
768L _ 3/16 X 1/4	3/16	4.76	1/4	.12	3.04	9/16	1.17	29.72	1.43	36.32	.54	13.7	
768L _ 1/4 X 1/16	1/4	6.35	1/16	.12	3.04	1/2	1.00	25.40	1.29	32.76	.60	15.2	
768L _ 1/4 X 1/8	1/4	6.35	1/8	.19	4.82	1/2	1.00	25.40	1.29	32.76	.60	15.2	
768L _ 1/4 X 1/4	1/4	6.35	1/4	.19	4.82	9/16	1.20	30.50	1.49	37.85	.60	15.2	
768L _ 1/4 X 3/8	1/4	6.35	3/8	.19	4.82	11/16	1.22	30.98	1.51	38.35	.60	15.2	
768L _ 1/4 X 1/2	1/4	6.35	1/2	.19	4.82	7/8	1.47	37.34	1.76	44.70	.60	15.2	

Fuente: Catálogo HAMLET

– **Selección de codos de unión:**

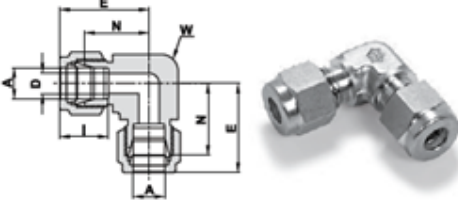
✓ Se seleccionaron dos codos para tubing de 1/4 dispuestos para el cambio de dirección en la tubería de succión. La referencia de este dispositivo es 765L_1/4. Ver Figura 127.

✓ Se seleccionaron cuatro codos para tubing de 1/8 dispuestos para el cambio de dirección en la tubería de alta presión. La referencia de este dispositivo es 765L_1/8. Ver Figura 127.

Figura 127. Selección de codos de unión

LET-LOK RACORES DE COMPRESIÓN

765 L CODO DE UNIÓN



TUBO (PULGADA) A TUBO (PULGADA)												
Información de pedido	A Tubo O.D.		D		W Llave Plana		N		E		I	
	plg	mm	plg	mm	plg	mm	plg	mm	plg	mm	plg	mm
765L_1/16	1/16	1.58	.05	1.27	3/8	9.5	.55	14.00	.70	17.80	.34	.86
765L_1/8	1/8	3.17	.09	2.28	3/8	9.5	.62	15.74	.88	22.35	.50	12.7
765L_3/16	3/16	4.76	.12	3.04	1/2	12.7	.74	18.80	1.00	25.40	.54	13.7
765L_1/4	1/4	6.35	.19	4.82	1/2	12.7	.77	19.55	1.06	26.92	.60	15.2
765L_5/16	5/16	7.93	.25	6.35	9/16	14.3	.84	21.33	1.13	28.70	.64	16.2
765L_3/8	3/8	9.52	.28	7.11	5/8	15.9	.91	23.11	1.20	30.48	.66	16.8
765L_1/2	1/2	12.70	.41	10.41	13/16	20.6	1.02	25.90	1.42	36.06	.90	22.9

Fuente: Catálogo HAMLET

– **Selección de codo macho:**

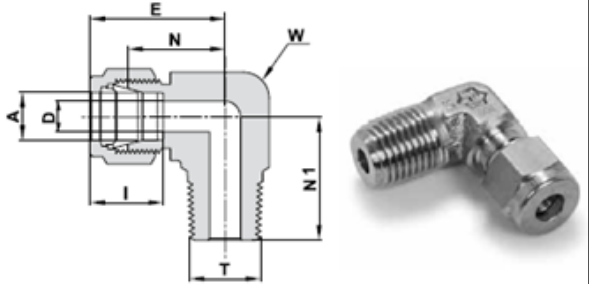
✓ Se seleccionó un codo macho de 1/8 NPT x 1/4 OD, para el puerto de succión. La referencia de este dispositivo es 769L_1/4 X 1/8. Ver Figura 128.

✓ Se seleccionó un codo macho de 1/8 NPT x 1/8 OD, para el puerto de descarga. La referencia de este dispositivo es 769L_1/8 X 1/8. Ver Figura 128

Figura 128. Selección de codo macho

769 L CODO MACHO
(Continuación)

LET-LOK RACORES DE COMPRESIÓN



Información de pedido	A Tubo O.D.		T (NPT)	D		W Llave Plana		N		E		N1		I	
	plg	mm		plg	mm	plg	mm	plg	mm	plg	mm	plg	mm	plg	mm
769L_ 1/16 X 1/16	1/16	1.58	1/16	.05	1.27	7/16	11.1	.60	15.24	.75	19.05	.70	17.78	.34	8.6
769L_ 1/16 X 1/8	1/16	1.58	1/8	.05	1.27	7/16	11.1	.60	15.24	.75	19.05	.70	17.78	.34	8.6
769L_ 1/8 X 1/16	1/8	3.17	1/16	.09	2.28	7/16	11.1	.67	17.02	.93	23.62	.70	17.78	.50	12.7
769L_ 1/8 X 1/8	1/8	3.17	1/8	.09	2.28	7/16	11.1	.67	17.02	.93	23.62	.70	17.78	.50	12.7
769L_ 1/8 X 1/4	1/8	3.17	1/4	.09	2.28	1/2	12.7	.71	18.03	.97	24.64	.92	23.37	.50	12.7
769L_ 3/16 X 1/8	3/16	4.76	1/8	.12	3.04	1/2	12.7	.74	18.80	1.00	25.40	.74	18.80	.54	13.7
769L_ 3/16 X 1/4	3/16	4.76	1/4	.12	3.04	1/2	12.7	.74	18.80	1.00	25.40	.92	23.37	.54	13.7
769L_ 1/4 X 1/16	1/4	6.35	1/16	.12	3.04	1/2	12.7	.77	19.56	1.06	26.92	.74	18.80	.60	15.2
769L_ 1/4 X 1/8	1/4	6.35	1/8	.19	4.82	1/2	12.7	.77	19.56	1.06	26.92	.74	18.80	.60	15.2
769L_ 1/4 X 1/4	1/4	6.35	1/4	.19	4.82	1/2	12.7	.77	19.56	1.06	26.92	.92	23.37	.60	15.2
769L_ 1/4 X 3/8	1/4	6.35	3/8	.19	4.82	11/16	17.5	.88	22.35	1.17	29.71	1.03	26.16	.60	15.2
769L_ 1/4 X 1/2	1/4	6.35	1/2	.19	4.82	13/16	20.6	.96	24.38	1.25	31.75	1.30	33.02	.60	15.2

Fuente: Catálogo HAMLET

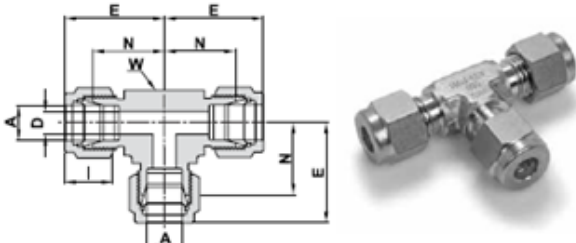
– **Selección de unión en Tee:**

✓ Se seleccionó una unión en Tee de 1/8 OD x 1/8 OD x 1/8 OD, para la conexión de la válvula de aguja responsable del venteo, la línea de presión y el conector que sale de la brida de la sección de prueba. La referencia de este dispositivo es 764L_1/8. Ver Figura 129.

Figura 129. Selección de unión en Tee

LET-LOK RACORES DE COMPRESIÓN

764 L UNION EN T



TODO EL TUBO (PULGADA)

Información de pedido	A Tubo O.D.		D		W Llave Plana		N		E		I	
	plg	mm	plg	mm	plg	mm	plg	mm	plg	mm	plg	mm
764L _ 1/16	1/16	1.58	.05	1.27	3/8	9.5	.55	14.00	.70	17.80	.34	8.6
764L _ 1/8	1/8	3.17	.09	2.28	3/8	9.5	.62	15.74	.88	22.35	.50	12.7
764L _ 3/16	3/16	4.76	.12	3.04	1/2	12.7	.70	17.80	.96	24.40	.54	13.7
764L _ 1/4	1/4	6.35	.19	4.82	1/2	12.7	.77	19.55	1.06	26.90	.60	15.2
764L _ 5/16	5/16	7.93	.25	6.35	5/8	15.9	.88	22.35	1.17	29.71	.64	16.2

Fuente: Catálogo HAMLET

– **Selección de las válvulas check:**

✓ Se seleccionaron dos válvulas check de 1/4 NPT, una para la línea de succión y otra para la línea de descarga, con una presión máxima de servicio de 6000 psi. La referencia de este dispositivo es 785 – SS – N – 1/4. Ver Figura 130.

Figura 130. Selección de las válvulas check



DIMENSIONES DE CONFIGURACIÓN ESTÁNDAR

Tipo de Válvula	Conexión / Tamaño		Cv	A		B		C		D	
	Entrada	Salida		mm	in	mm	in	mm	in	mm	in
H-400	1/8" LET-LOK®	1/8" LET-LOK®	0.1	56.0	2.20	25.3	1.00	15.88	5/8	11.11	7/16
H-400	1/4" LET-LOK®	1/4" LET-LOK®	0.47	60.5	2.38	25.0	0.98	15.88	5/8	14.28	9/16
H-400	6MM LET-LOK®	6MM LET-LOK®	0.47	60.5	2.38	25.0	0.98	15.88	5/8	14.00	
H-400	3/8" LET-LOK®	3/8" LET-LOK®	1.47	63.5	2.50	24.9	0.98	17.46	11/16	17.46	11/16
H-400	10MM LET-LOK®	10MM LET-LOK®	1.68	64.0	2.52	24.9	0.98	17.46	11/16	19.00	
H-400	1/2" LET-LOK®	1/2" LET-LOK®	1.68	77.0	3.03	32.6	1.28	23.8	15/16	22.23	7/8
H-400	12MM LET-LOK®	12MM LET-LOK®	1.68	77.0	3.03	32.8	1.28	23.8	15/16	22.00	
H-400	3/4" LET-LOK®	3/4" LET-LOK®	4.48	88.5	3.48	44.4	1.75	28.6	11/8	28.60	11/8
H-400	1" LET-LOK®	1" LET-LOK®	4.48	120	4.72	67.2	2.65	34.9	13/8	38.10	11/2
H-410	1" Hembra NPT	1/8" Hembra NPT	0.1	44.0	1.73	25.4	1.00	15.88	5/8		
H-410	1/8" Hembra NPT	1/4" Hembra NPT	0.47	52.5	2.07	28.0	1.10	19.05	3/4		
H-410	1/4" Hembra NPT	3/8" Hembra NPT	1.47	51.5	2.03	34.1	1.34	22.23	7/8		
H-410	3/8" Hembra NPT	1/2" Hembra NPT	1.68	76.5	3.01	43.4	1.71	28.6	11/8		
H-410	1/2" Hembra NPT	3/4" Hembra NPT	4.48	86.0	3.39	56.0	2.20	34.9	13/8		
H-410	3/4" Hembra NPT	1" Hembra NPT	4.48	107	4.21	73.0	2.87	41.28	15/8		
H-480	1/4" Macho NPT	1/4" Macho NPT	0.47	53.3	2.10	25.0	0.98	19.05	3/4		
H-485	1/4" Macho NPT	1/4" Hembra NPT	0.47	53.7	2.11	27.3	1.07	19.05	3/4		

Fuente: Catálogo HAMLET

– **Selección de válvula de aguja:**

✓ Para la operación en el banco se requirieron solo dos de estas válvulas, una para el venteo del segmento de prueba y otra para el cierre del circuito a la hora de mantener la presión en la sección de prueba. Estas válvulas son de conexión autoclave, del fabricante “AUTOCLAVE ENGINEERS”, con puertos para conexión de tubing de 1/8 in. La referencia de este dispositivo es 10V2071 - HC.

Figura 131. Válvula de aguja AUTOCLAVE ENGINEERS



Fuente: <http://www.autoclave.com>

– **Selección de válvula RELIEF (alivio):**

✓ Se buscó una valvula de alivio para un presión de apertura cercana a la capacidad de diseño de la bomba, sin embargo el resorte que esta dentro del cuerpo esta diseñado para un presion máxima de 6000 psi. La referencia de este dispositivo es H – 985 – HP – SS – N – 1/4 – H. Ver Figura 132.

Figura 132. Selección de válvula RELIEF

DIMENSIONES DE CONFIGURACIÓN ESTÁNDAR										
Descripción	Conexión / Tamaño		Dimensiones							
	Entrada	Entrada	A		B		C		D	
			mm	plg	mm	plg	mm	plg	mm	plg
H-900HP	1/4 LET-LOK®	1/4 LET-LOK®	37	1.45	39	1.53	50	1.97	105	4.13
H-900HP	6MM LET-LOK®	6MM LET-LOK®	37	1.45	39	1.53	50	1.97	105	4.13
H-985HP	1/4 Macho NPT	1/4 Hembra NPT	32	1.26	30	1.18	40	1.57	100	3.94
H-995HP	1/4 Macho NPT	1/4 LET-LOK®	32	1.26	39	1.53	50	1.97	100	3.94

RANGO DE PRESIÓN NOMINAL DE FISURA			
psig	Bars / Barras	Indicador de Muelle	Color
50-350	3.4 - 24	A	Blanco
350-750	24 - 51.5	B	Azul
750-1500	51.5 - 103	C	Dorado
1500-2250	103 - 155	D	Turquesa
2250-3000	155 - 206	E	Verde
3000-4000	206 - 275	F	Rojo
4000-5000	275 - 344	G	Plata
5000-6000	344 - 413	H	Negra

A

B

C

D

E

F

G

H

Fuente: Catálogo HAMLET

4.2. DISEÑO Y SELECCIÓN DE ACCESORIOS PARA EL SISTEMA DE LLENADO

4.2.1. Diseño del tanque de almacenamiento para el fluido de prueba

El criterio utilizado para calcular la capacidad del tanque en litros (L) corresponde al doble del caudal máximo que puede suministrar la bomba (35 L/mín), por tanto la capacidad mínima que debe tener el tanque en litros (L) es de 70 L. Teniendo en cuenta este valor como factor principal para las dimensiones del tanque, se continuó a mirar que espacio disponible se tenía en la estructura del banco para establecer la mejor relación de ubicación, estética y proporcionalidad con respecto a los demás elementos del banco. Después de algunos planteamientos se obtuvo un tanque rectangular con las siguientes dimensiones:

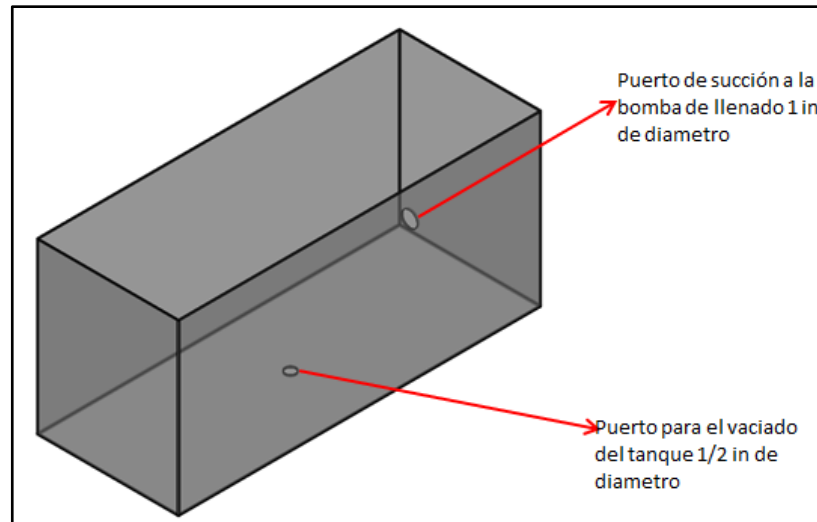
- Alto: 35 cm
- Largo: 75 cm
- Ancho: 29.5 cm
- Espesor (t) = 0.3 cm
- Volumen = Alto x Largo x ancho = $34.7 \times 74.4 \times 28.9 = 74610.5 \text{ cm}^3 = 74.6105 \text{ L}$

El volumen calculado cumple satisfactoriamente la condición antes planteada.

El material que se seleccionó para la construcción del tanque fue lámina de acero inoxidable 316 L que no presenta reacción química con el ambiente. Se utilizó en él soldadura de argón que no se oxida ni se corroe, evitando afectar el sistema de prueba y la vida útil de los demás accesorios del banco.

Su cuerpo dispone de dos agujeros, uno necesario para conectar la línea de succión de la bomba rotodinámica y otro que se sugiere para vaciar el fluido restante de la operación de llenado de la sección de prueba.

Figura 133. Tanque de almacenamiento sistema de llenado



Fuente: Los Autores

4.2.2. Selección de accesorios

- **Selección de la tubería de succión:** Se seleccionó la tubería de succión de 1 in de diámetro en PVC que corresponde con el diámetro de succión de la electrobomba de llenado para la sección de prueba.

La referencia de este dispositivo es 2900220. Ver Figura 134.

- **Selección de la tubería de vaciado del tanque:** Se seleccionó la tubería de vaciado del tanque de 1/2 in de diámetro en PVC, además para un tramo de tubería que permite acoplar una manguera a la estructura para el llenado del tanque.

La referencia de este dispositivo es 2900266. Ver Figura 134.

Figura 134. Selección de tuberías de 1 in y 1/2 in PVC

Diámetro Nominal		Referencia	Peso	Diámetro Exterior Promedio		Espesor de Pared Mínimo		Diámetro Interior Promedio
mm	pulg.			mm	pulg.	mm	pulg.	
21	1/2	2900266	218	21.34	0.840	2.37	0.093	16.60
26	3/4	2900210	304	26.67	1.050	2.43	0.095	21.81
21	1/2	2902449	157	21.34	0.840	1.58	0.062	18.18
33	1	2900213	364	33.40	1.315	2.46	0.097	28.48
26	3/4	2900237	189	26.67	1.050	1.52	0.060	23.63
33	1	2900220	252	33.40	1.315	1.60	0.063	30.20
42	1.1/4	2900225	395	42.16	1.660	2.01	0.079	38.14
48	1.1/2	2902450	514	48.26	1.900	2.29	0.090	43.68
60	2	2902453	811	60.32	2.375	2.87	0.113	54.58
73	2.1/2	2900230	1185	73.03	2.875	3.48	0.137	66.07

Fuente: Catálogo PAVCO

- **Selección de codos 90°:** Se seleccionaron cuatro codos de 90°, para efectuar el cambio de dirección de la tubería que comunica el tanque con el puerto de succión de la bomba y uno de 1/2 in para la línea de llenado del tanque.

La referencia de estos dispositivos es 2901105 y 2901122 respectivamente. Ver Figura 135.

Figura 135. Selección de codos 90 PVC

Codos 90°		Diámetro Nominal	Referencia
mm	pulg.		
21	1/2	2901122	
26	3/4	2901144	
33	1	2901105	
42	1.1/4	2901114	
48	1.1/2	2901110	
60	2	2901127	
73	2.1/2	2901132	
88	3	2901137	
114	4	2901149	
168	6	2904611	

Fuente: Catálogo PAVCO

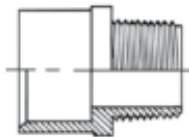
- **Selección de adaptadores macho:** Se seleccionaron dos adaptadores macho de 1 in de diámetro, uno para la conexión con la válvula de pie y otro como conexión con el puerto de succión de la bomba.

La referencia de este dispositivo es 2900762. Ver Figura 136.

Se seleccionaron dos adaptadores macho de 1/2 in de diámetro uno para la línea de drenaje del tanque y otro para la línea de llenado.

La referencia de este dispositivo es 2900779. Ver Figura 136.

Figura 136. Selección de adaptadores macho PVC

Adaptadores macho	Diámetro Nominal		Referencia
	mm	pulg.	
	21	1/2	2900779
	26	3/4	2900802
	33	1	2900762
	42	1.1/4	2900771
	48	1.1/2	2900767
	60	2	2900784
	73	2.1/2	2900790
	88	3	2900794
	114	4	2900807

Fuente: Catálogo PAVCO

- **Selección de válvula de pie:** Se seleccionó una válvula de pie que es utilizada como filtro para la bomba, adaptándole una serie de enmallados para atrapar partículas que se encuentren suspendidas en el tanque de almacenamiento.

La referencia de este dispositivo es 2901708. Ver Figura 137

Figura 137. Selección de válvula de pie PVC

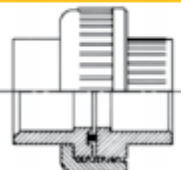
* Válvula de pie	Diámetro Nominal		Referencia
	mm	pulg.	
	42	1.1/4	2901708
	* No amparadas bajo sello NTC 1339		

Fuente: Catálogo PAVCO

- **Selección de unión universal:** Se seleccionó una unión universal que es utilizada como acople entre la línea que comunica el tanque, con el puerto de succión de la bomba para facilitar el desensamblaje de la bomba con el sistema y una de 1/2 in para el llenado del tanque.

La referencia de estos dispositivos es 2901672 y 2901679 respectivamente. Ver Figura 138.

Figura 138. Selección de unión universal PVC

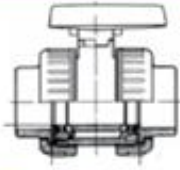
Universales	Diámetro Nominal		Referencia
	mm	pulg.	
	21	1/2	2901679
	26	3/4	2901685
	33	1	2901672
	42	1.1/4	2901801
	48	1.1/2	2901802
	60	2	2901800

Fuente: Catálogo PAVCO

- **Selección de válvula universal:** se seleccionó una válvula universal para la línea de drenaje del tanque, la cual permite vaciar el fluido de prueba o controlar el nivel de ser necesario.

La referencia de este dispositivo es 2903408. Ver Figura 139.

Figura 139. Selección de válvula universal PVC

Valvulas Universales			
	Diámetro Nominal		Referencia
	mm	pulg.	
Válvula Universal Roscada	21	1/2	2903407
	26	3/4	2903413
	33	1	2903402
	48	1.1/2	2903405
	60	2	2903409
Válvula Universal Soldada	21	1/2	2903408
	26	3/4	2903414
	33	1	2903403
	48	1.1/2	2903406
	60	2	2903410

Fuente: Catálogo PAVCO

- **Selección de adaptador hembra roscado:** Se seleccionó un adaptador hembra roscado de 1/2 in de diámetro para ajustar la línea de drenaje al tanque. La referencia de este dispositivo es 2900742. Ver Figura 140

Figura 140. Selección de adaptador hembra roscado PVC

Adaptadores Hembra		Diámetro Nominal pulg.	Referencia
	3/4 x 1/4	2900743	
	3/4 x 3/8	2900744	
	3/4 x 1/2	2900742	

Fuente: Catálogo PAVCO

- **Selección de mangueras flexibles de alta presión:** se consideró como una opción más práctica disponer de una combinación de mangueras flexibles, de

3/4 in de diámetro interior para la descarga de la bomba y 1/2 in de diámetro interno para la línea que llega a la sección de prueba.

La referencia de estos dispositivos es 7093-100200 y 7093-50200 respectivamente. Ver Figura 141.

Figura 141. Selección de mangueras flexibles de alta presión

PART NO.	APPLICATION	INSIDE DIAMETER	REINFORCEMENT GRADES	OUTSIDE DIAMETER	WEIGHT	MINIMUM BEND RADIUS	MAX. RECOMMENDED WORKING PRESSURE	M V P
7093-100200	Air, Water & Multi-Purpose	1/2 in. (12.7 mm)	2	0.813 in. (20.7 mm)	21 lb. per 100 ft.	4.5	200	
7093-10020050								
7093-100304	Air, Water & Multi-Purpose	1/2 in. (12.7 mm)	2	0.844 in. (21.4 mm)	23 lb. per 100 ft.	4.5	250	
7093-10030450								
	Air, Water & Multi-Purpose	5/8 in. (15.9 mm)	4	1.062 in. (27.0 mm)	30 lb. per 100 ft.	5.5	300	
7093-38300								
7093-50200	Air, Water & Multi-Purpose	3/4 in. (19.1 mm)	2	1.109 in. (28.2 mm)	32 lb. per 100 ft.	6	200	
7093-5020050								



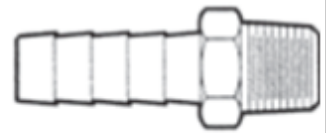
Fuente: <http://www.Parker.com>

– **Selección de conectores rectos para manguera:** Se seleccionó un conector recto de 1/2 in de diámetro en la espiga con rosca de 1/2 NPT, para grafarlo con la manguera flexible de 1/2 in de diámetro interior, además de otro conector recto de 3/4 in de diámetro en la espiga con rosca de 1/2 NPT, para grafarlo con la manguera flexible de 3/4 in de diámetro interior.

La referencia de estos dispositivos es KF08-08PS y KF12-16PS respectivamente. Ver Figura 142.

Figura 142. Selección de conectores rectos para manguera

CONEXIONES ESPIGA PARA MANGUERAS / Hose Barbs		
KF-PS		
CONECTOR RECTO MACHO PARA MANGUERA		
<i>Hose Barb to Male Pipe</i>		
Código Code	Medidas Size in	Rosca Threads in
KF02-02PS	1/8" x 1/8"	1/8" NPT
KF02-04PS	1/8" x 1/4"	1/4" NPT
KF08-06PS	1/2" x 3/8"	3/8" NPT
KF08-08PS	1/2" x 1/2"	1/2" NPT
KF08-12PS	1/2" x 3/4"	3/4" NPT
KF08-16PS	1/2" x 1"	1" NPT
KF10-04PS	5/8" x 1/4"	1/4" NPT
KF10-06PS	5/8" x 3/8"	3/8" NPT
KF10-08PS	5/8" x 1/2"	1/2" NPT
KF10-12PS	5/8" x 3/4"	3/4" NPT
KF10-16PS	5/8" x 1"	1" NPT
KF12-06PS	3/4" x 3/8"	3/8" NPT
KF12-08PS	3/4" x 1/2"	1/2" NPT
KF12-12PS	3/4" x 3/4"	3/4" NPT
KF12-16PS	3/4" x 1"	1" NPT
KF16-08PS	1" x 1/2"	1/2" NPT
KF16-12PS	1" x 3/4"	3/4" NPT
KF16-16PS	1" x 1"	1" NPT



Fuente: Catálogo COVALCA Fluid Connectors

– **Selección conexión hembra giratoria JIC con espiga:** Para un fácil montaje de las líneas flexibles se dispuso que un extremo fuera giratorio. Seleccionándose una hembra giratoria de 1/2 in en la espiga con rosca 3/4 JIC, para la manguera flexible de 1/2 in de diámetro interior y una hembra giratoria de 3/4 in en la espiga con rosca 1 1/16 JIC, para la manguera flexible de 3/4 in de diámetro interior.

La referencia de estos dispositivos es 08-08 FJX y 12-12 FJX respectivamente. Ver Figura 143.

Figura 143. Selección conexión hembra giratoria JIC con espiga

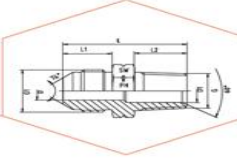
HEMBRA GIRATORIA JIC (FJX) CON ESPIGA			
• Medidas: manguera 1/4 a 1.1/2 hilo 7/16 a 1.7/8 JIC • Norma: JIC/SAE J514 asiento 37° • Material: acero carbono zincado			
	código	Ø interior manguera	hilo hembra JIC
	04-04 FJX	1/4	7/16 x 20
	05-05 FJX	5/16	1/2 x 20
	06-06 FJX	3/8	9/16 x 20
	08-08 FJX	1/2	3/4 x 16
	10-10 FJX	5/8	7/8 x 1/4
	12-12 FJX	3/4	1.1/16 x 12

Fuente: Catálogo COVALCA Fluid Connectors

– **Selección de conector recto en acero inoxidable 316L:** Con el fin de poder acoplar las mangueras flexibles de 3/4 in de diámetro interior a la de 1/2 de diámetro interior, se seleccionó un conector de 3/4 JIC con salida 1/2 NPT y un conector de 1 1/16 JIC con salida 1/2 NPT.

La referencia de estos dispositivos es 12552810-08-08 y 12552810-12-08 respectivamente. Ver Figura 144.

Figura 144. Selección de conector recto en acero inoxidable 316L



JIC - Männlich
NPT - Männlich
JIC - Male
NPT - Male

JIC-37° - ADAPTER
JIC-37° - ADAPTORS



Druck Pressure PN	Rohr A.D. Tube O.D.		Gewinde Thread		Ca. Maße Approx. Dimensions						Bestellzeichen Order-Code G1 x G	Brutto-Preis Gross-Price Euro (€)
	mm	in.	G1 = UNF/UN	G = NPT	L	L1	L2	D	D1	SW		
350	6	1/4"	7/16"-20	1/8"-27	31,0	14,0	10,0	4,0	4,0	12	1252810-04-02	5,30
350	6	1/4"	7/16"-20	1/4"-18	36,0	14,0	15,0	4,0	4,0	17	1252810-04-04	5,30
350	6	1/4"	7/16"-20	3/8"-18	36,0	14,0	15,3	4,0	9,0	19	1252810-04-06	5,70
350	6	1/4"	7/16"-20	1/2"-14	42,0	14,0	20,0	4,0	13,0	22	1252810-04-08	8,65
350	8	5/16"	1/2"-20	1/8"-27	30,0	14,0	10,0	4,0	4,0	14	1252810-05-02	5,35
350	8	5/16"	1/2"-20	1/4"-18	36,0	14,0	15,0	5,0	5,0	17	1252810-05-04	5,35
350	8	5/16"	1/2"-20	3/8"-18	36,0	14,0	15,3	5,0	9,0	19	1252810-05-06	8,50
350	8	5/16"	1/2"-20	1/2"-14	42,0	14,0	20,0	5,0	13,0	22	1252810-05-08	12,00
350	10	3/8"	9/16"-18	1/8"-27	30,0	14,0	10,0	6,0	4,0	17	1252810-06-02	5,78
350	10	3/8"	9/16"-18	1/4"-18	34,0	14,0	15,0	6,0	6,0	17	1252810-06-04	5,78
350	10	3/8"	9/16"-18	3/8"-18	34,0	14,0	15,3	6,0	6,0	19	1252810-06-06	5,78
350	10	3/8"	9/16"-18	1/2"-14	43,0	14,0	20,0	7,5	13,0	22	1252810-06-08	7,50
350	12	1/2"	3/4"-16	1/4"-18	39,0	17,0	15,0	9,0	5,0	19	1252810-08-04	7,20
350	12	1/2"	3/4"-16	3/8"-18	39,0	17,0	15,3	9,0	9,0	19	1252810-08-06	7,20
350	12	1/2"	3/4"-16	1/2"-14	45,7	17,0	20,0	9,5	9,5	22	1252810-08-08	7,85
350	12	1/2"	3/4"-16	3/4"-14	47,2	17,0	20,0	9,5	17,0	27	1252810-08-12	8,95
350	14, 15, 16	5/8"	7/8"-14	3/8"-18	42,0	19,5	15,3	12,0	9,0	24	1252810-10-06	8,65
350	14, 15, 16	5/8"	7/8"-14	1/2"-14	48,0	19,5	20,0	12,0	12,0	24	1252810-10-08	9,40
350	14, 15, 16	5/8"	7/8"-14	3/4"-14	48,2	19,5	20,0	12,0	18,0	27	1252810-10-12	9,90
350	18, 20	3/4"	1 1/16"-12	3/8"-18	47,0	22,0	15,3	15,0	9,0	27	1252810-12-06	36,80
350	18, 20	3/4"	1 1/16"-12	1/2"-14	52,2	22,0	20,0	15,0	13,5	27	1252810-12-08	12,25
350	18, 20	3/4"	1 1/16"-12	3/4"-14	52,3	22,0	20,0	15,0	15,0	27	1252810-12-12	12,25
350	18, 20	3/4"	1 1/16"-12	1"-11,5	57,5	22,0	25,0	15,0	21,0	36	1252810-12-16	25,10

Fuente: Catálogo PH ADAPTORS

- **Selección de conector hembra:** se seleccionó un conector hembra de 1/2 NPT para la conexión de los dos conectores rectos JIC x NPT.

La referencia de estos dispositivos es 348001600. Ver Figura 145.

Figura 145. Selección de conector hembra



Fuente: Catálogo accesorios de agua Sumatec_{s.a}

- **Selección del conector niple NPT inoxidable de rosca continua:** Se requirió de este elemento para poder establecer la conexión entre la válvula de aguja de 1/2 NPT y la brida en la sección de prueba.

La referencia de estos dispositivos es 122HCN_1/2. Ver Figura 146.

Figura 146. Selección del conector niple NPT inoxidable

122HCN NIPLE DE CIERRE						
Información de pedido	T Macho NPT	D		L		
		Pulgada	mm	Pulgada	mm	
122HCN_1/8	1/8	0.19	4.8	0.75	19.1	
122HCN_1/4	1/4	0.28	7.1	1.12	28.4	
122HCN_3/8	3/8	0.38	9.6	1.12	28.4	
122HCN_1/2	1/2	0.47	11.9	1.50	38.1	
122HCN_3/4	3/4	0.62	15.7	1.50	38.1	
122HCN_1	1	0.88	22.4	1.88	47.8	

Fuente: Catálogo HAMLET

- **Selección de la cupla NPT inox:** Se seleccionó una cupla 1/2 NPT para la conexión de la rosca NPT de la válvula de aguja con un conector recto de 1/2 in NPT.

La referencia de estos dispositivos es 103H_1/2. Ver Figura 147

Figura 147. Selección de la cupla NPT inox

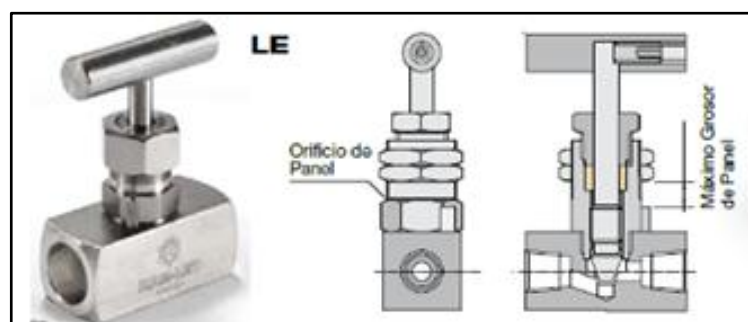
103 H COPLA HEXAGONAL						
Información de pedido	T Hembra NPT	L		D Abertura mínima		W Plano Hexagonal
		Pulgada	mm	Pulgada	mm	Pulgada
103H_1/8	1/8	0.81	20.6	0.34	8.6	9/16
103H_1/4	1/4	1.19	30.2	0.45	11.4	3/4
103H_3/8	3/8	1.31	33.3	0.59	15.0	7/8
103H_1/2	1/2	1.56	39.6	0.73	18.5	1 1/16
103H_3/4	3/4	1.62	41.1	0.94	23.9	1 5/16
103H_1	1	2.00	50.8	1.17	29.7	1 5/8

Fuente: Catálogo HAMLET

- **Selección de la válvula de aguja:** Se seleccionó una válvula de aguja de 1/2 in para la el cierre de una parte de la sección de prueba durante la prueba de integridad, con una capacidad de operación máxima de 6000 psi.

La referencia de estos dispositivos es H9985SSNV1/2. Ver Figura 148.

Figura 148. Selección Válvula de aguja de 1/2 in



DIMENSIONES DE CONFIGURACIÓN DE MONTAJE					
Extremo		Orificio de Panel		Máximo Grosor de Panel	
Conexión	Tamaño	mm	plg	mm	plg
Pulgada Let-Lok®	1/4"	22.0	0.87	6.35	0.25
	3/8"				
	1/2"				
	3/4"				
Let-Lok® Métrico	6mm	22.0	0.87	6.35	0.25
	8mm				
	10mm				
	12mm				
Rosca Hembra (NPT/ISO)	1/8"	22.0	0.87	6.35	0.25
	1/4"				
	3/8"				
	1/2"				
	3/4"				
Soldadura de Tubo por encastre Pulgada	1"	22.0	0.87	6.35	0.25
	1/4"				
	3/8"				
	1/2"				
Soldadura de Tubo por encastre Métrico	3/4"	25.0	0.98	6.35	0.25
	1"				
	6mm				
	8mm				
	10mm				
	12mm	22.0	0.87	6.35	0.25
	25mm				
	10mm				
	12mm				

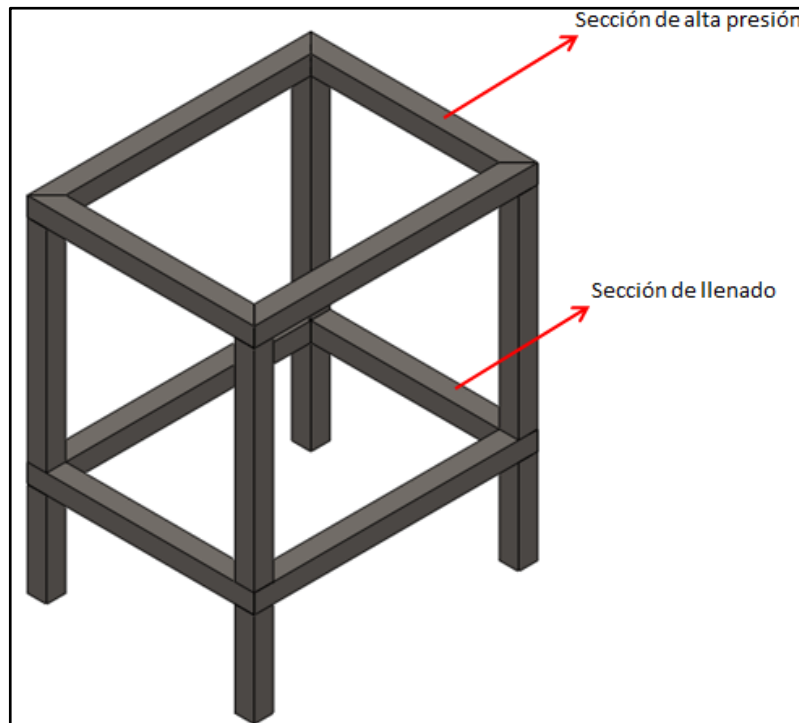
Fuente: Catálogo HAMLET

4.3. DISEÑO DE LA ESTRUCTURA DEL BANCO DE PRUEBAS

Se busco la forma de adecuar una estructura compacta, liviana y fácil de transportar, obteniendo las dimensiones adecuadas que facilitan la movilidad del banco. Debido a esto se seleccionaron unos perfiles cuadrados de 1.5 x 1.5 in y espesor $t = 1$ mm, analizando diferentes alternativas geométricas y la mejor ubicación de los elementos que conforman el banco.

Como primera alternativa se obtuvo una geometría con dos niveles, una para el sistema de presurización y otra para el sistema de llenado. Esta geometría fue descartada al proponer una altura para el tanque que alimenta la bomba de llenado, generando una altura estática en la succión y así garantizar que la bomba siempre este cebada.

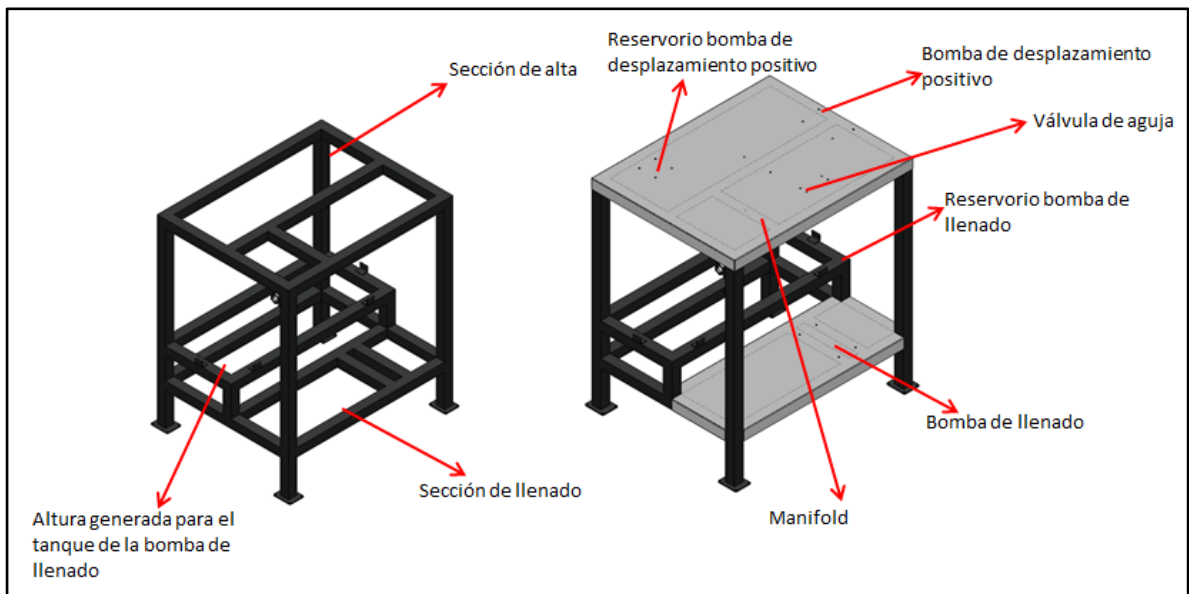
Figura 149. Planteamiento inicial estructura banco de pruebas



Fuente: Los Autores

Finalmente al realizar una serie de modificaciones a la geometría anterior, se incluye una serie de perfiles para generar la altura estática de succión de la bomba rotodinámica, se adicionaron otros perfiles para ayudar al soporte de los diferentes elementos del banco como el manifold, la bomba de llenado y la bomba de desplazamiento positivo.

Figura 150. Planteamiento final Estructura banco de pruebas



Fuente: Los Autores

5. VALIDACIÓN DEL DISEÑO DE LA BOMBA DE DESPLAZAMIENTO POSITIVO MEDIANTE EL ANÁLISIS DE INGENIERÍA ASISTIDA POR COMPUTADORA (CAE)

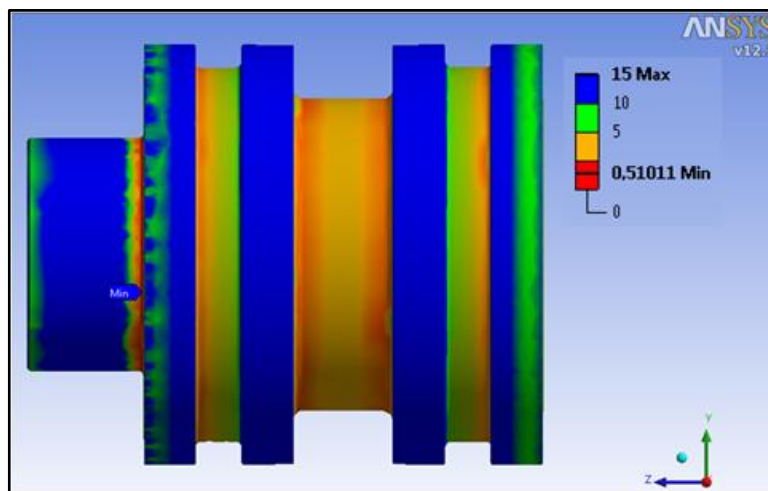
El procesos de validación mediante análisis CAE se llevo a cabo después de tener la selección del diámetro exterior del sello, el cálculo del Tornillo de Potencia y el análisis del Vástago actuando como columna.

El procedimiento que se llevo a cabo consiste en diseñar la geometría de un elemento a estudiar, luego se realiza el análisis CAE del elemento, si el diseño no es valido ($F_s < 1$) se modifica la geometría hasta obtener un resultado positivo en el análisis ($F_s > 1$). Luego se ensambla el elemento en contacto directo con el validado anteriormente, y de esta manera el análisis comprende el ensamble del sistema diseñado para la bomba de desplazamiento positivo.

5.1. ANÁLISIS CAE PARA DEL PISTÓN.

Se comienza entonces con el diseño de una geometría previa del elemento que entra en contacto con el fluido de trabajo, que en este caso es el Pistón.

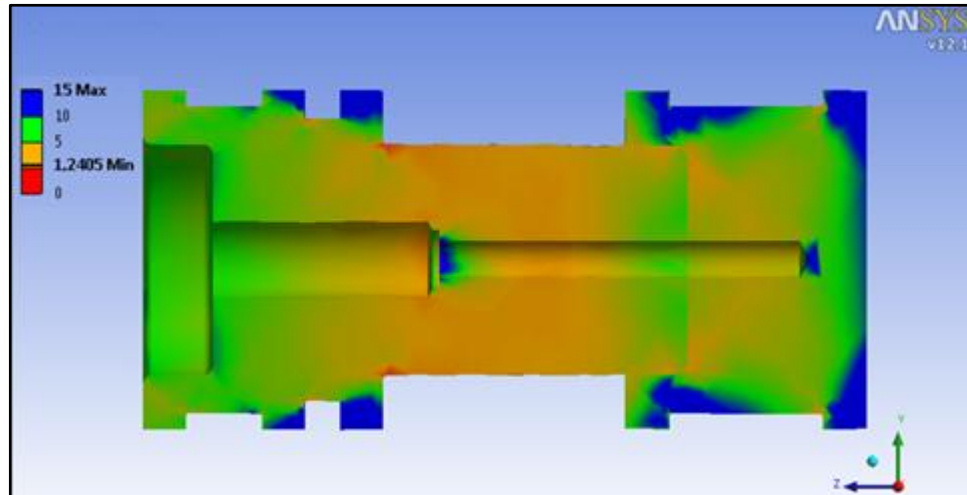
Figura 151. Simulación CAE conjunto Pistón inicial



Fuente: Los Autores

Este diseño resulto en un conjunto de dos piezas denominadas: “Pistón”, y “Pistón-Tapa”.

Figura 152. Simulación CAE conjunto Pistón final

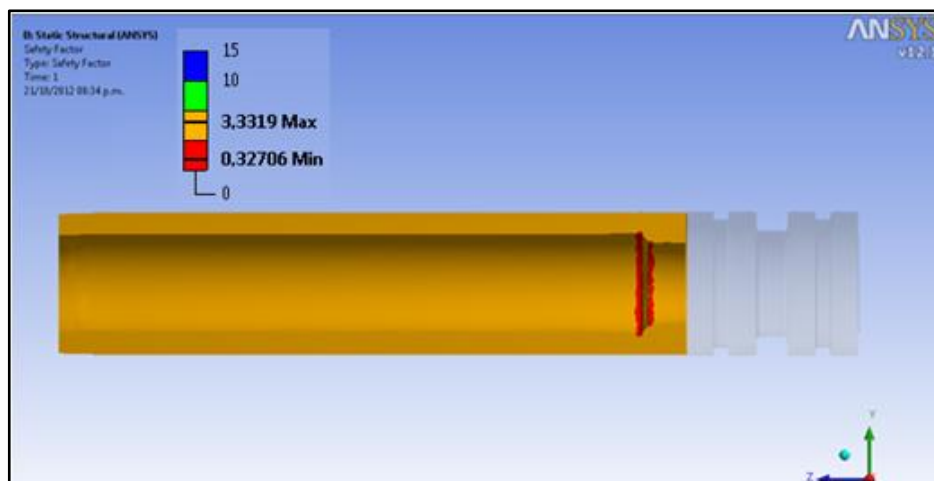


Fuente: Los Autores

5.2. ANÁLISIS CAE PARA EL VÁSTAGO.

El conjunto de elementos que se presentan son: Vástago, Pistón y Pistón.

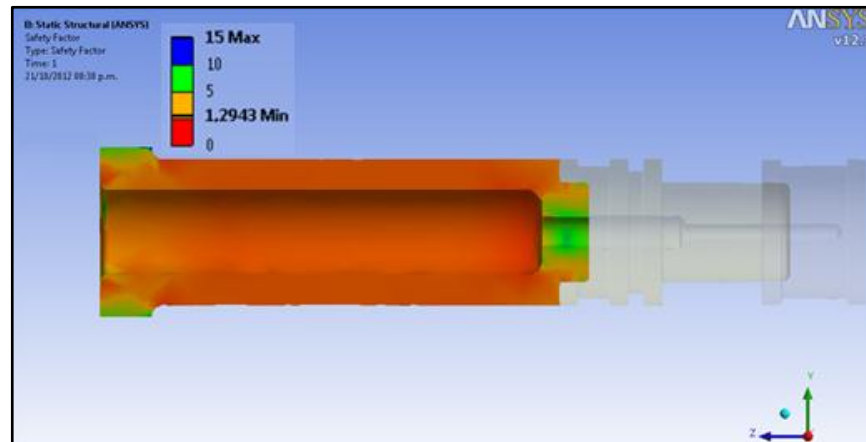
Figura 153. Simulación CAE Vástago inicial



Fuente: Los Autores

Geometría definitiva para el Vástago. El conjunto de elementos en el análisis definitivo del Vástago son: Vástago, Pistón y Pistón-Tapa.

Figura 154. Simulación CAE Vástago final

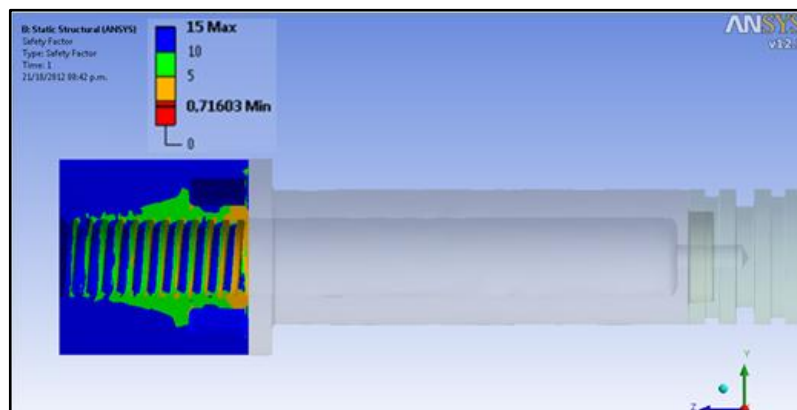


Fuente: Los Autores

5.3. ANÁLISIS CAE PARA LA TUERCA.

Inicialmente la Tuerca fue planteada para deslizar por el cuerpo del Tonillo de Potencia y ser guiada por la Camisa Guía. El conjunto de elementos que se presentan son: Tuerca, Vástago y Pistón.

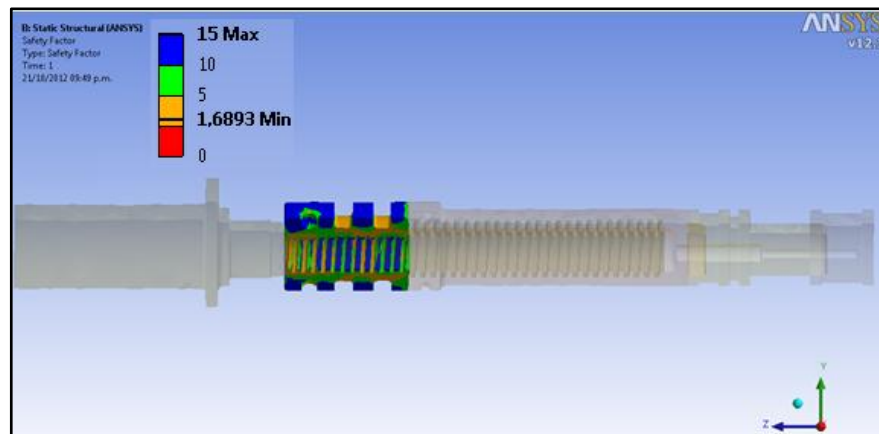
Figura 155. Simulación CAE Tuerca inicial



Fuente: Los Autores

Del conjunto de elementos que se presentaron en el análisis anterior, se realizó el ensamble de la geometría de un diseño básico del Tornillo de potencia, con el fin de aproximar la forma en como se transmiten los esfuerzos de la Tuerca a éste último elemento (tornillo). El conjunto de elementos en el análisis definitivo de la Tuerca son: Tornillo de Potencia, Tuerca, Vástago, Pistón y Pistón-Tapa.

Figura 156. Simulación CAE Tuerca final

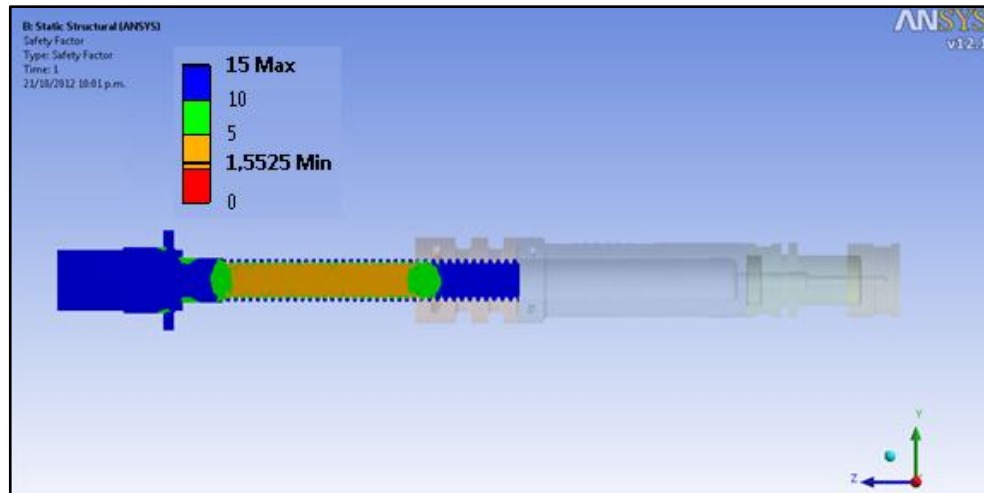


Fuente: Los Autores

5.4. ANÁLISIS CAE PARA EL TORNILLO DE POTENCIA.

El conjunto de elementos que se presentan son: Tornillo de Potencia, Tuerca, Vástago, Pistón y Pistón-Tapa.

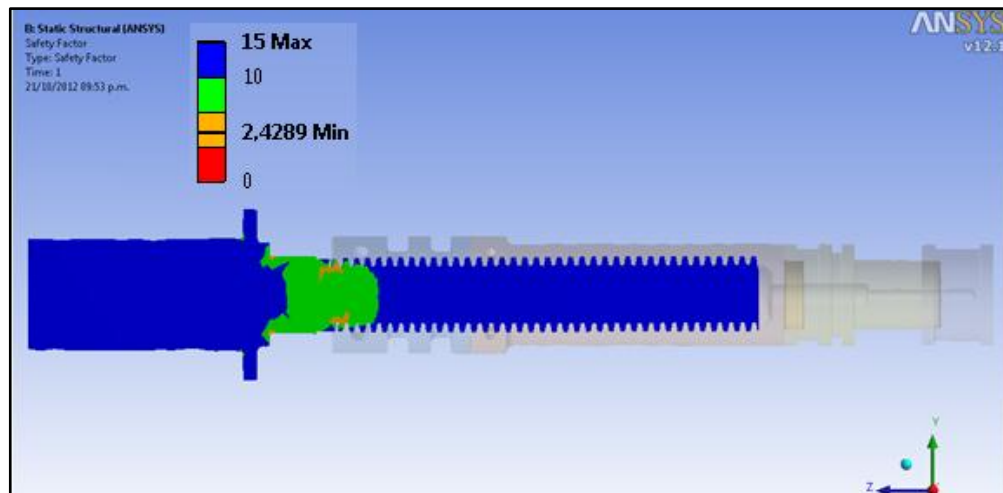
Figura 157. Simulación CAE Tornillo de Potencia inicial



Fuente: Los Autores

El Tornillo de Potencia no sufre mayor número de modificaciones, solo las necesarias para adaptar a él los elementos que lo alinean (Rodamientos) y que transmiten el torque. El conjunto de elementos son los mismos que en el análisis anterior.

Figura 158. Simulación CAE Tornillo de Potencia final



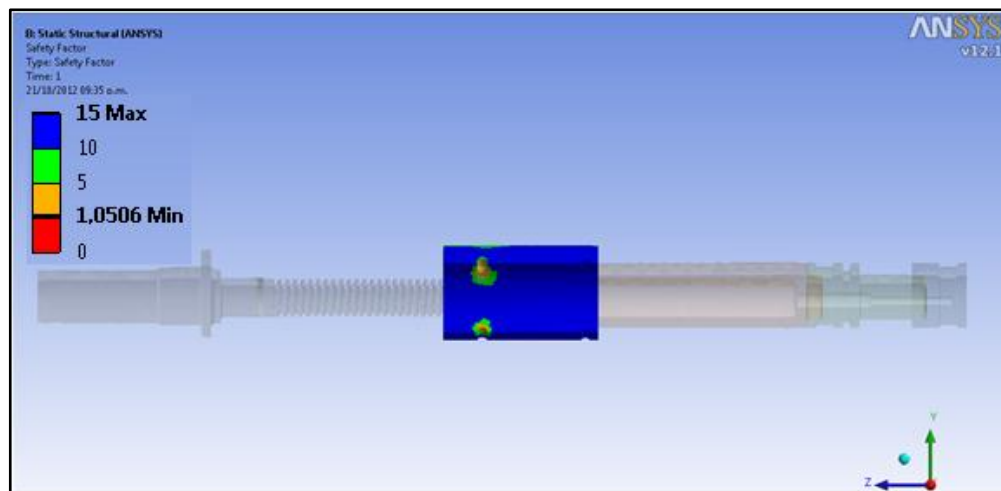
Fuente: Los Autores

5.5. ANÁLISIS CAE DE LA CAMISA DE DESGASTE.

Como se ha mencionado en el proceso de diseño de detalle, se requirió del diseño de esta pieza debido a una serie de modificaciones en la geometría de la Tuerca.

El proceso del análisis estuvo en conjunto con los pasadores que permiten su ensamble con la Tuerca, lo que quiere decir que a medida que se valida el diseño de la Camisa de desgaste, se define la geometría del Pasador Tuerca-Camisa de Desgaste. El conjunto de elementos que se presentan son: Tornillo de Potencia, Tuerca, Camisa de desgaste, Pasador Tuerca-Camisa de desgaste (cuatro unidades), Vástago, Pistón y Pistón-Tapa.

Figura 159. Simulación CAE Camisa de Desgaste inicial

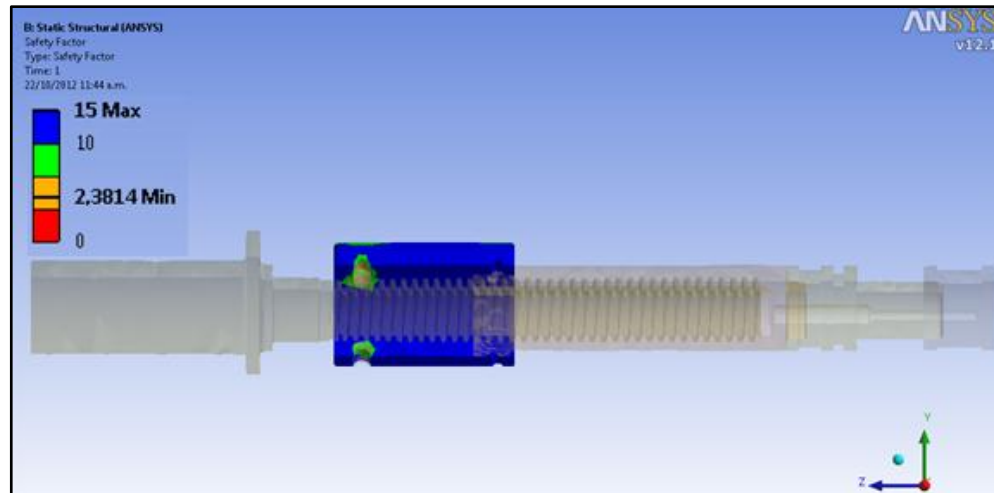


Fuente: Los Autores

La Camisa de Desgaste no sufre mayor número de modificaciones, solo aquellas que le permiten aliviar los concentradores de esfuerzo en el material.

El conjunto de elementos son los mismos que en el análisis anterior.

Figura 160. Simulación CAE Camisa de Desgaste final



Fuente: Los Autores

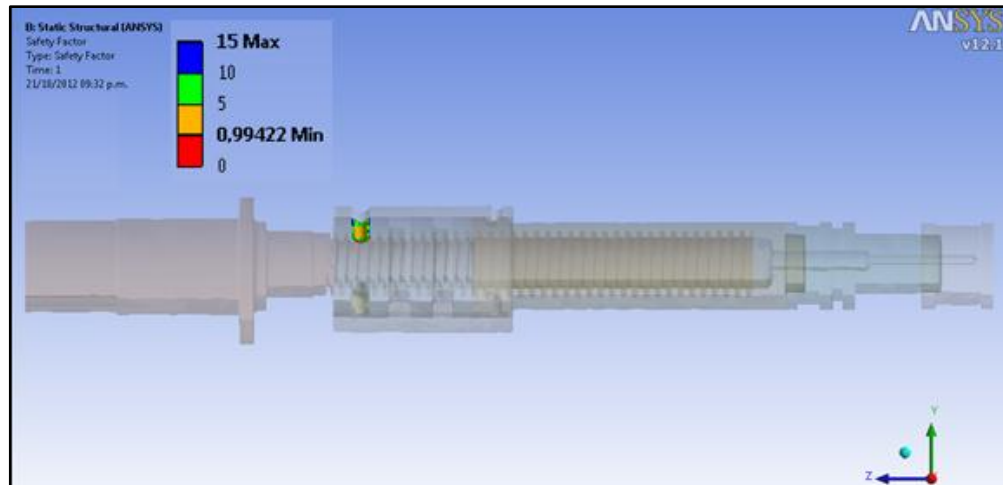
5.6. ANÁLISIS CAE DEL PASADOR TUERCA-CAMISA DE DESGASTE

El diseño de este elemento consta de una rosca interna M3 para poder extraerlo del ensamble con las demás piezas del diseño.

Realizar el mecanizado de esta rosca es un proceso delicado y tedioso por lo que se sugirió realizar un agujero pasante en el pasador para simplificar el mecanizado de la rosca, sin embargo el factor de seguridad en uno de los cuatro pasadores resulta ser inferior a $F_s < 1$.

El conjunto de elementos que se presentan son: Tornillo de Potencia, Tuerca, Camisa de desgaste, Pasador Tuerca-Camisa de desgaste (cuatro unidades), Vástago, Pistón y Pistón-Tapa.

Figura 161. Simulación CAE Pasador Tuerca-Camisa de Desgaste inicial

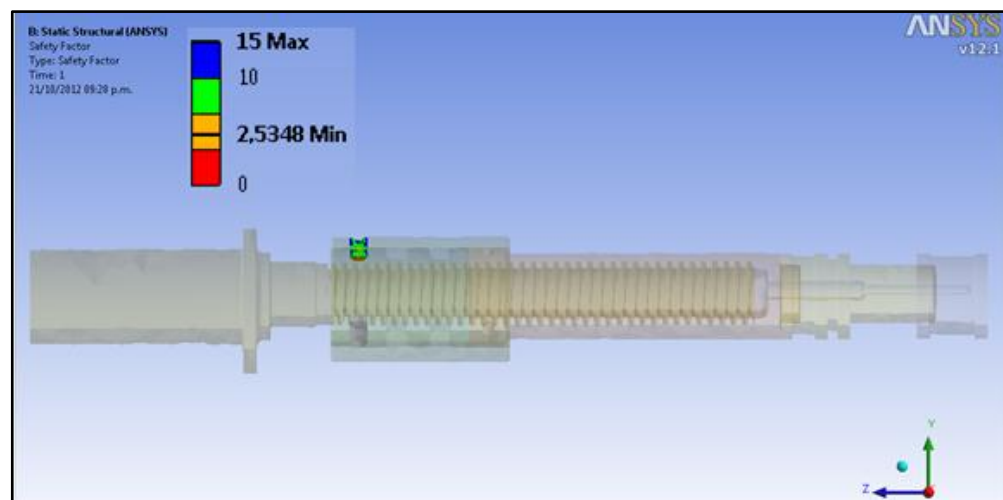


Fuente: Los Autores

Se modificó la geometría del pasador al taladrar con una profundidad límite el agujero que le permite a los cuatro pasadores soportar los esfuerzos.

El conjunto de elementos son los mismos que en el análisis anterior.

Figura 162. Simulación CAE Pasador Tuerca-Camisa de Desgaste final

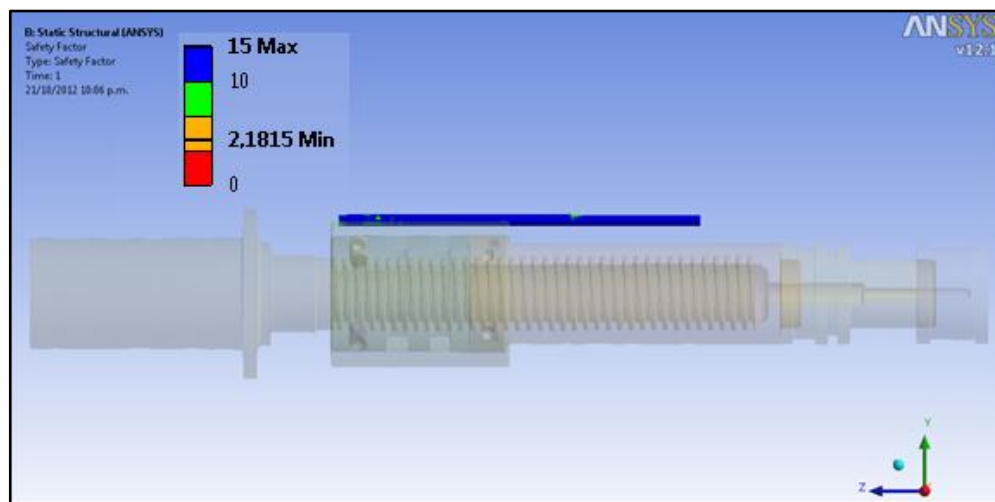


Fuente: Los Autores

5.7. ANÁLISIS CAE DE LA CUÑA DE LA CAMISA DE DESGASTE.

Este elemento es un eje de acero a la medida del cuñeros diseñado en la Camisa de Desgaste. El conjunto de elementos que se presentan son: Tornillo de Potencia, Tuerca, Camisa de desgaste, Cuña de la Camisa de Desgaste, Pasador Tuerca-Camisa de desgaste (cuatro unidades), Vástago, Pistón y Pistón-Tapa.

Figura 163. Simulación CAE Cuña Camisa de Desgaste inicial



Fuente: Los Autores

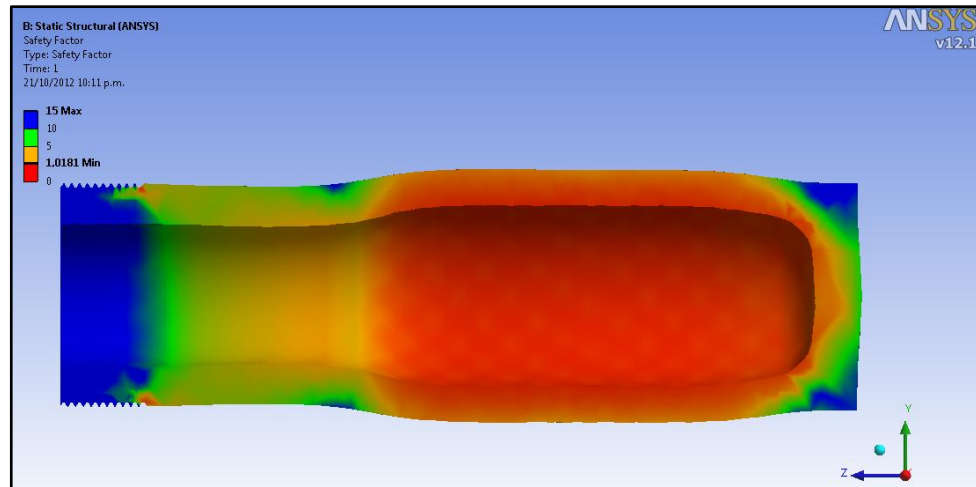
5.8. ANÁLISIS CAE DE LA CÁMARA DE BOMBEO.

La geometría del elemento se diseñó luego de realizar un análisis matemático de los esfuerzos en recipientes sometidos a presión. Del proceso de modelamiento matemático se conoce la geometría inicial, donde es de interés el diámetro interior y exterior de la pieza.

El resultado de la geometría para el análisis CAE inicial es un perfil básico del diámetro calculado, donde la rosca de este elemento es fijada para llevar a cabo el análisis de esfuerzos.

Aun no se incluyen los puertos de succión y de descarga

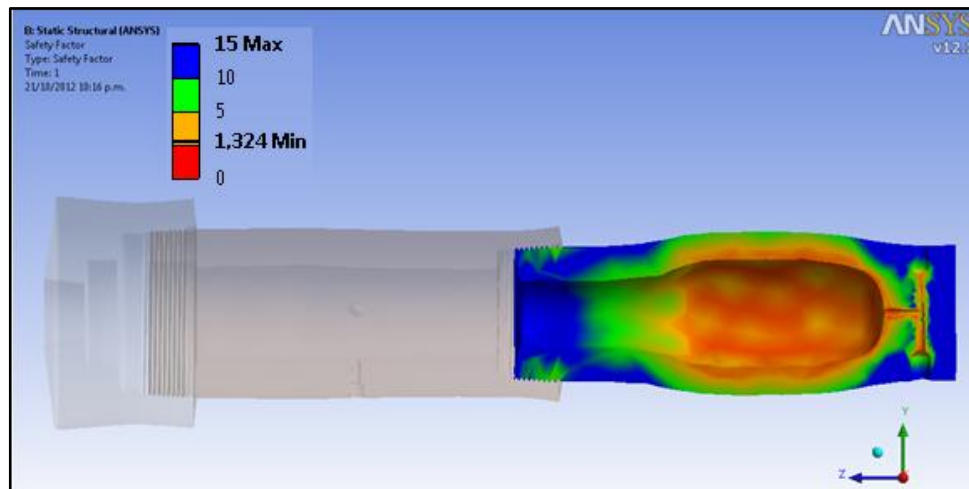
Figura 164. Simulación CAE Cámara de Bombeo inicial



Fuente: Los Autores

Se modificó el perfil de esta pieza, incluyendo los canales para la distribución del fluido de trabajo. El conjunto de elementos que se presentan son: Tapa de la Bomba, Camisa Guía y la Cámara de Bombeo.

Figura 165. Simulación CAE Cámara de Bombeo final

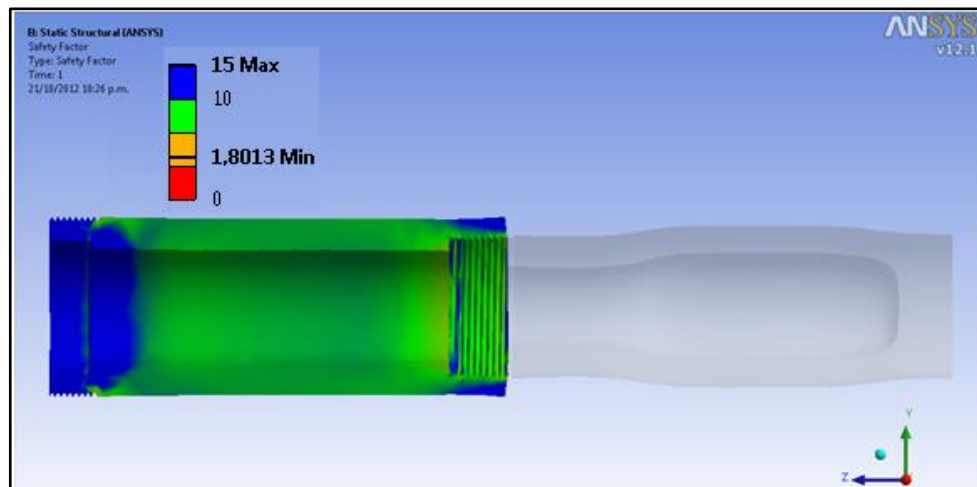


Fuente: Los Autores

5.9. ANÁLISIS CAE DE LA CAMISA GUÍA.

Se considero a este elemento como pieza responsable de guiar la Tuerca, alinear la Cámara de Bombeo y evitar el giro que se transmite producto del torque al presurizar la bomba. El conjunto de elementos que se presentan son: Camisa Guía y Cámara de Bombeo.

Figura 166. Simulación CAE Camisa Guía inicial



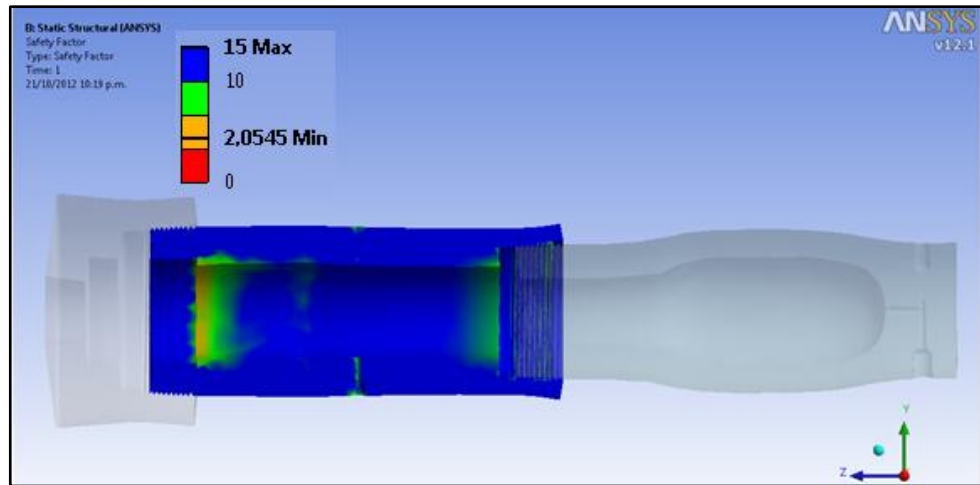
Fuente: Los Autores

Se modifico la geometría para adaptar elementos como rodamientos y aumentar el factor de seguridad (Fs).

La zona de color amarillo corresponde a la ubicación de la Camisa de Desgaste. El cambio en la geometría y específicamente el aumento en la dimensión del diámetro exterior, constituye el proceso llevado a cabo con el fin de corregir la falla por aplastamiento de la Camisa de Desgaste, al se comprimida por la deformación que sufre la Camisa Guía en el momento de alcanzar el requerimiento máximo de operación.

El conjunto de elementos que se presentan son: Tapa de la Bomba, Camisa Guía y Cámara de Bombeo.

Figura 167. Simulación CAE Camisa Guía final

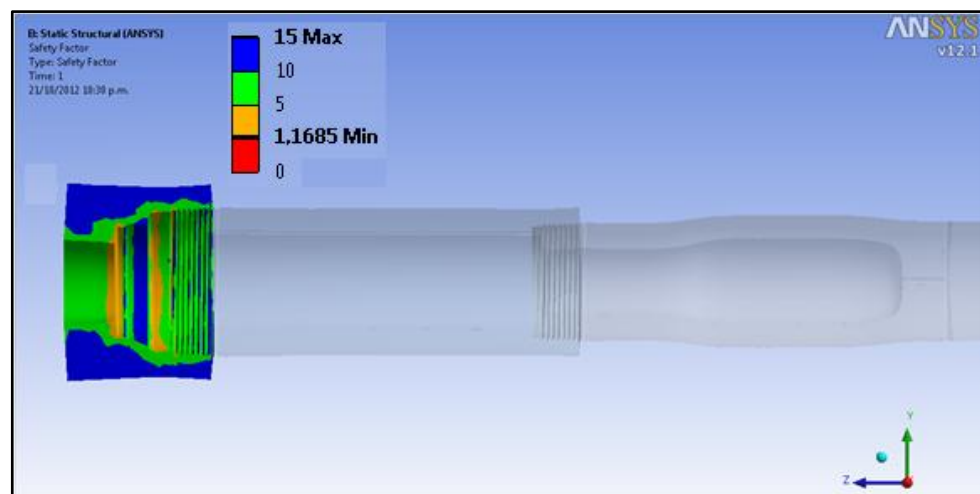


Fuente: Los Autores

5.10. ANÁLISIS CAE DE LA TAPA DE LA BOMBA

Consiste en un elemento que sella los elementos internos de la bomba y soporta la reacción de la carga axial. El conjunto de elementos que se presentan son: Tapa de la Bomba, Camisa Guía y Cámara de Bombeo.

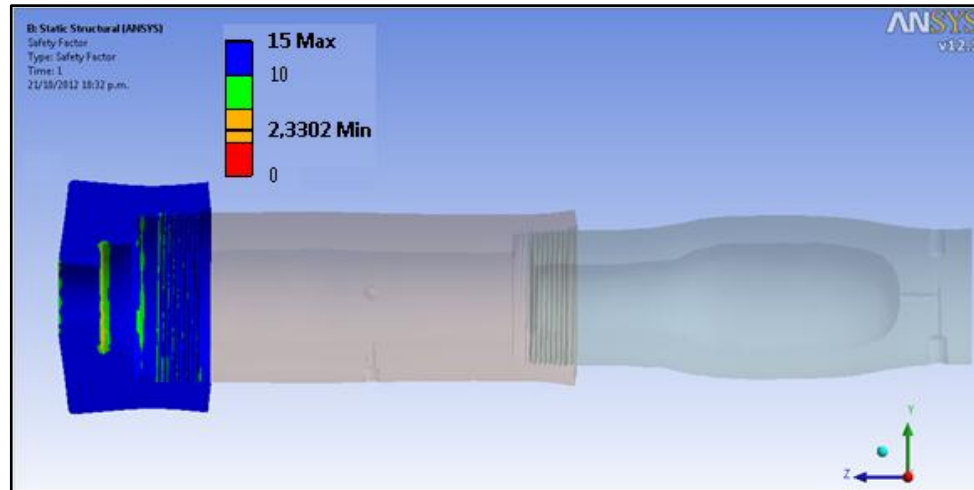
Figura 168. Simulación CAE Tapa de la Bomba inicial



Fuente: Los Autores

La geometría del elemento se modificó para lograr aumentar el factor de seguridad de esta pieza. Esta sujeta igualmente a las variaciones en el diámetro exterior de la Camisa Guía. El conjunto de elementos que se presentan son los mismos que en el caso anterior.

Figura 169. Simulación CAE Tapa de la Bomba final



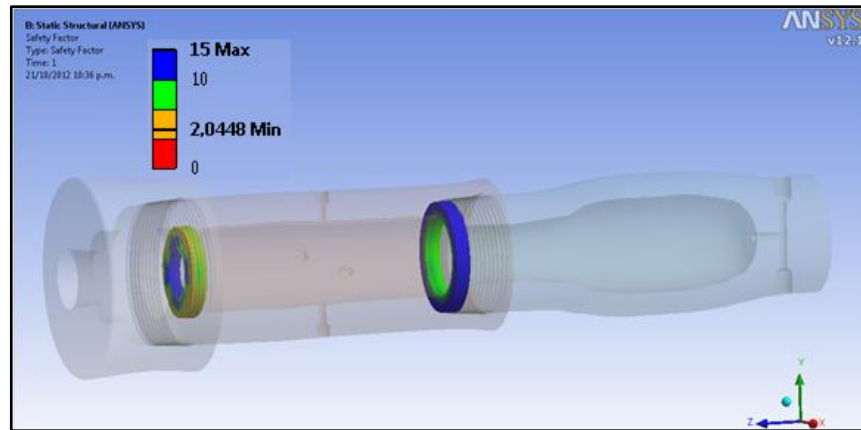
Fuente: Los Autores

5.11. ANÁLISIS CAE DEL SEPARADOR RODAMIENTO-TUERCA Y DEL SEPARADOR CAMISAS.

Estos son elementos que surgen de modificar la geometría de la Camisa de Desgaste para el caso de Separador Rodamiento-Tuerca y de la geometría de la Cámara de Bombeo para el caso del Separador Camisas.

El conjunto de elementos que se presentan son: Tapa de la Bomba, Separador Rodamiento-Tuerca, Camisa Guía, Separador Camisas y Cámara de Bombeo.

Figura 170. Simulación CAE Separador Rodamiento-Tuerca y del Separador

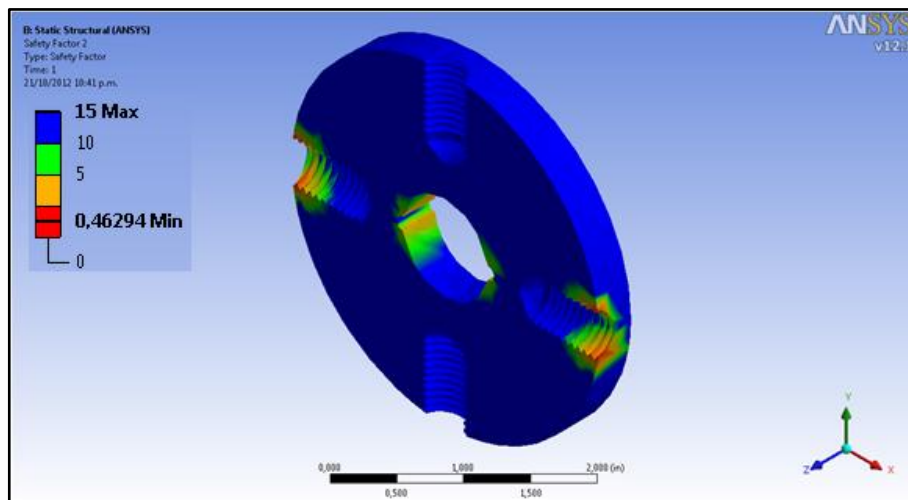


Fuente: Los Autores

5.12. ANÁLISIS CAE DEL VOLANTE.

Se considero inicialmente roscar unos agujeros para ensamblar las Palancas para Torque y dos cuñeros circulares para transmitir el torque al tornillo.

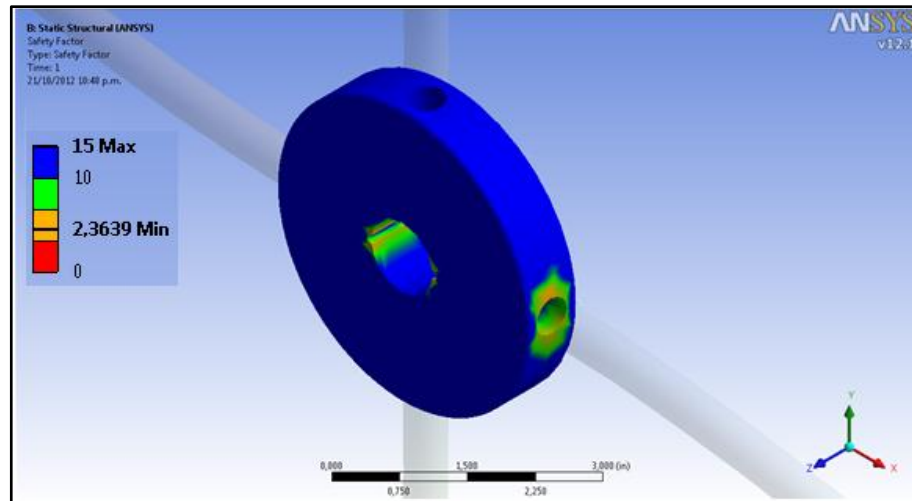
Figura 171. Simulación CAE Volante inicial



Fuente: Los Autores

Se modificó el Volante para adaptar las Palancas para Torque con un prisionero. El conjunto de elementos que se presentan son: Volante y Palancas para Torque.

Figura 172. Simulación CAE Volante final

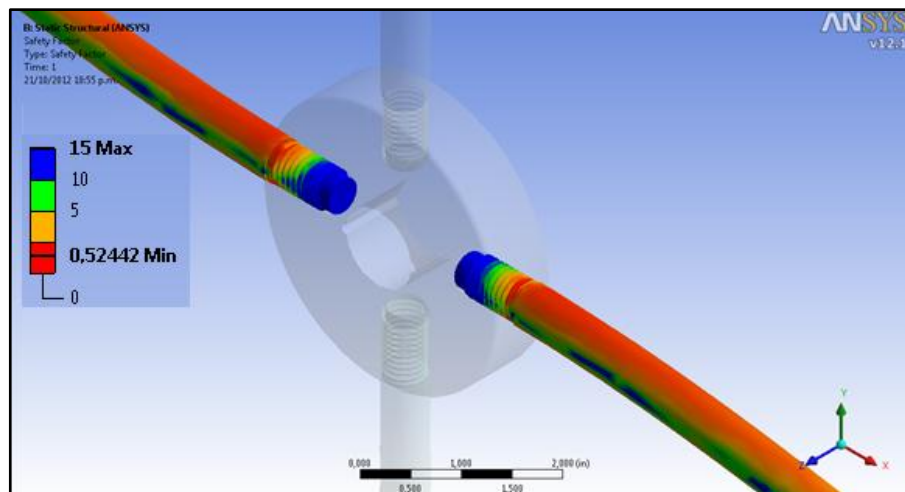


Fuente: Los Autores

5.13. ANÁLISIS CAE DE LA PALANCA PARA TORQUE.

El primer análisis corresponde al ensamblaje de la barra mediante el ajuste por roscas. El conjunto de elementos que se presentan son: Volante y Palancas para Torque.

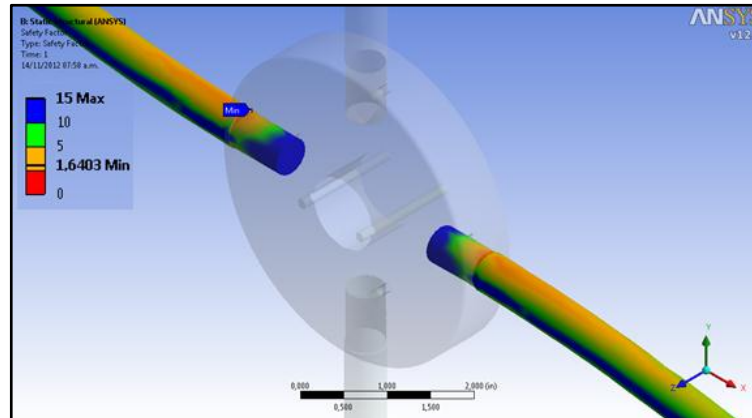
Figura 173. Simulación CAE Palanca para Torque inicial



Fuente: Los Autores

Se consideró como mejor opción anclar la Palanca para Torque mediante un tornillo prisionero dispuesto en la cara posterior del Volante.

Figura 174. Simulación CAE Palanca para Torque final

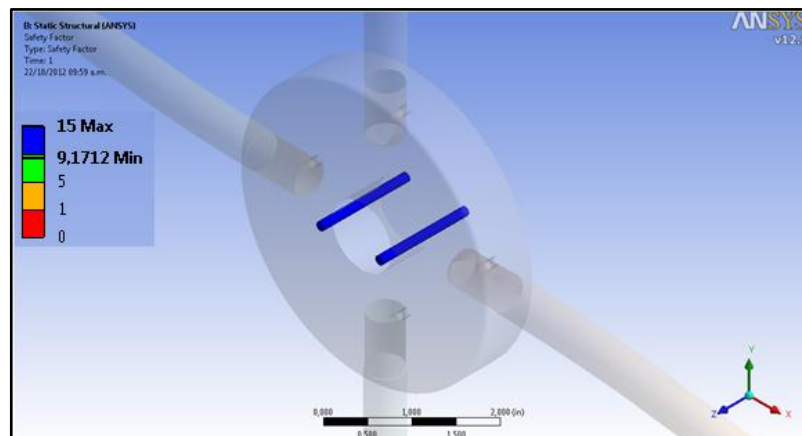


Fuente: Los Autores

5.14. ANÁLISIS CAE PARA LA CUÑA TORNILLO-VOLANTE.

Este elemento es básicamente un eje de acero del mismo diámetro para el cuñero dispuesto en el Tornillo de Potencia y en el volante. No surgen modificaciones, solo se corta a la medida del cuñero en el tornillo. El conjunto de elementos que se presentan son: Volante, Cuña Tornillo-Volante y Palancas para Torque.

Figura 175. Simulación CAE cuña Tornillo-Volante

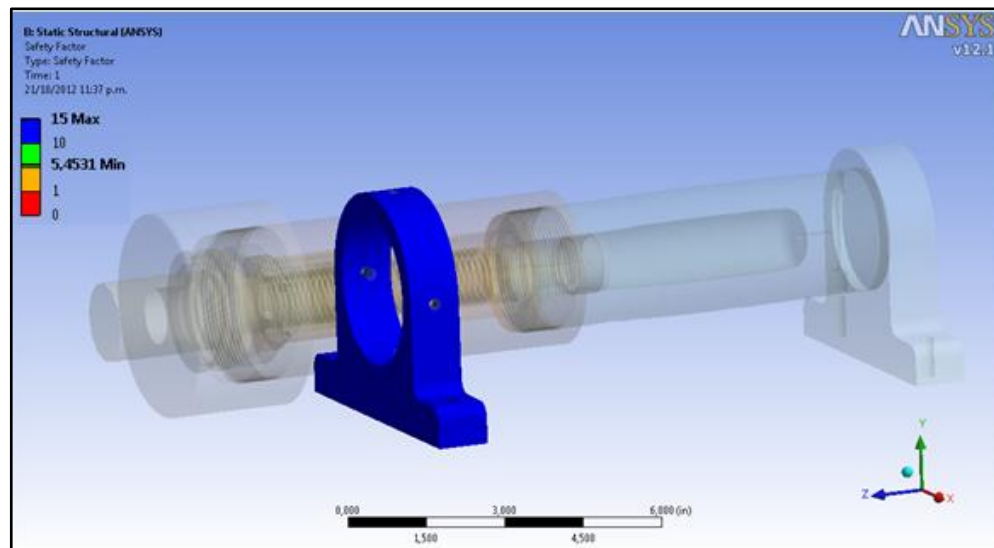


Fuente: Los Autores

5.15. ANÁLISIS CAE PARA LAS BASES DE LA BOMBA.

De las bases que fueron diseñadas, solo la Base Antigiro soporta la reacción del torque aplicado para presurizar la bomba, y de los esfuerzos producto de la deformación de la Camisa Guía. Su diseño se adapta a los cambios en los elementos de la bomba, influyendo directamente los cambios en la Camisa Guía.

Figura 176. Simulación CAE Bases de la Bomba

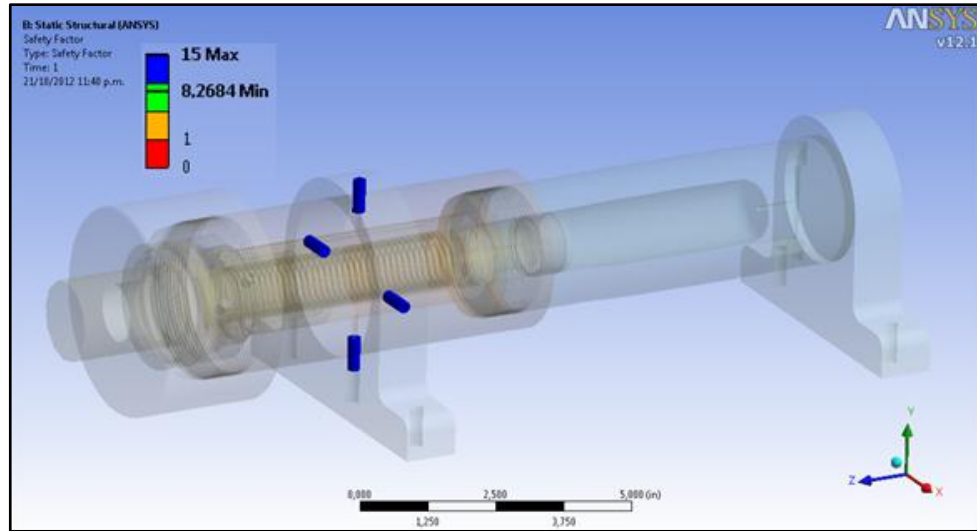


Fuente: Los Autores

5.16. ANÁLISIS CAE PARA EL PASADOR ANTIGIRO.

Este elemento estuvo sujeto a cambios en la geometría de la Camisa Guía, e igualmente a los realizados en la geometría de la Base Antigiro.

Figura 177. Simulación CAE Pasador Antigiro



Fuente: Los Autores

5.17. CONCLUSIÓN DEL ANÁLISIS CAE PARA LOS ELEMENTOS QUE CONFORMAN LA BOMBA DE DESPLAZAMIENTO POSITIVO

De la tabla que se muestra a continuación se puede concluir que el elemento crítico en el diseño de la bomba prototipo de desplazamiento positivo es el Pistón, con un factor de seguridad de $F_s = 1.24$ considerando el diseño como seguro para una presión máxima de trabajo de 10000 psi, correspondiente con el parámetro máximo de operación establecido para el diseño.

Es importante resaltar en este punto que la presión en el banco se ve limitada por la válvula de seguridad que se dispara aproximadamente a 5600 psi; igualmente para alcanzar los 10000 psi se debe restringir el uso de algunos otros accesorios en el banco, como lo son las válvulas checke (con capacidad de presión de 6000 psi) y aun así la presión no debe ser excedida del rango máximo por efectos de extrusión del sello.

Tabla 10. Factor de Seguridad Elementos Prototipo de Bomba de Desplazamiento Positivo

ELEMENTO	MATERIAL	FACTOR DE SEGURIDAD
PISTÓN TAPA	Acero AISI 4340	1,597
PISTÓN	Acero AISI 4340	1,240
VÁSTAGO	Acero AISI 304	1,294
TUERCA	Acero AISI 4340	1,689
TORNILLO	Acero AISI 4140 templado en aceite	2,428
CAMISA DE DESGASTE	Acero AISI 304	2,381
PASADOR TUERCA-CAMISA DE DESGASTE	Acero AISI 304	2,534
CUÑA DE LA CAMISA DE DESGASTE	Acero AISI 304	2,181
CÁMARA DE BOMBEO	Acero AISI 304	1,324
CAMISA GUÍA	Acero AISI 304	2,054
TAPA DE LA BOMBA	Acero AISI 304	2,330
SEPARADOR RODAMIENTO-TUERCA	Acero AISI 304	2,044
SEPARADOR CAMISAS	Acero AISI 304	6,518
VOLANTE	Acero AISI 304	2,363
PALANCA PARA TORQUE	Acero AISI 4140	1,640
CUÑA TORNILO-VOLANTE	Acero AISI 304	9,171
BASE FRONTAL	Acero AISI 1045	Diseñada para apoyo de la bomba
BASE ANTIGIRO	Acero AISI 1045	5,453
BASE POSTERIOR	Acero AISI 1045	Diseñada para apoyo de la bomba
PASADOR ANTI-GIRO	Acero AISI 304	8,260

Fuente: Los Autores

6. MANUFACTURA Y PRUEBAS DEL PROTOTIPO DE BOMBA MANUAL DE DESPLAZAMIENTO POSITIVO

La manufactura del prototipo de bomba se llevo a cabo en las instalaciones del “SENA” en la cede “CIMI (Centro Industrial de Mantenimiento Integral)” Regional Santander; bajo la supervisión del Instructor RICARDO ANDRÉS PABÓN. Esto fue posible debido a un convenio existente para el desarrollo de proyectos entre la Universidad Industrial de Santander y el SENA.

6.1. MÁQUINAS HERRAMIENTAS CNC UTILIZADAS

El laboratorio de CNC del SENA cuenta con varios tipos de máquinas herramientas CNC, de las cuales se utilizaron para las operaciones de mecanizado tres tipos de torno y una fresadora, que son indicados a continuación:

6.1.1. Torno CNC de bancada plana “SHENYANG MACHINE TOOL CO., LTD. Serie CAK 5085 di”

Los Tornos CNC de bancada plana, Series CAK50/61 se basan en la estructura establecida, interfaz estable y calidad confiable. Son tornos económicos, prácticos, de tipo universal.

Estos tornos se utilizan ampliamente en industrias como la automotriz, de petróleo, militar, etc. Los Tornos CNC SMTCL se pueden utilizar para el de mecanizado de superficies interiores y exteriores de piezas con forma cilíndrica y de disco, superficies curvilíneas, superficies de arco, roscas, taladros, etc.

También se puede utilizar para el mecanizado de superficies curvas no circulares, y para fresado. Varios sistemas CNC y accesorios están disponibles según los requisitos de los usuarios.

Figura 178. Máquina Herramienta CNC SHENYANG MACHINE TOOL CO., LTD.
Serie CAK 5085 di



Fuente: <http://www.smtclchina.com>

El modelo del torno corresponde al CAK50d(i ó j) con controlador FANUC Oi Mate, con las siguientes características técnicas:

- Máxima longitud de pieza de trabajo 890 mm
- Máxima longitud de corte 850 mm
- Máxima diámetro de corte 500 mm
- Sujeción manual diámetro 250 mm
- Rango de velocidades del eje con motor de frecuencia variable: 22 – 2200 RPM
- Potencia del motor principal 7.5 KW
- Precisión de pieza de trabajo IT6 – IT7

Los datos y las especificaciones de este tipo de torno fueron extraídos del catálogo para tornos (CAK SERIES LATHE) del fabricante SMTCL.

6.1.2. Torno CNC de bancada plana “HNC serie CK6032/70”

Este tipo de torno es equipado con un controlador HNC-21T CNC, una unidad de servo accionamiento AC, una torreta eléctrica y un sistema automático de lubricación. Es indicado para el torneado cilíndrico, cónico, arcos circulares y operaciones de refrentado, operaciones de ranurado y de roscado son especialmente adecuadas para partes pequeñas y de mediana cantidad de producción.

Figura 179. Máquina Herramienta CNC HNC serie CK6032/70



Fuente: www.huazhongcnc.com

El modelo del torno corresponde al CK6032 con controlador HNC-21T, con las siguientes características técnicas:

- Máxima longitud de pieza de trabajo 600 mm
- Máxima longitud de corte 550 mm
- Máxima diámetro de sujeción 50 mm

- Rango de velocidades del eje con motor de frecuencia variable: 80 – 2500 RPM
- Potencia del motor principal 3 KW

Los datos y las especificaciones de este tipo de torno fueron extraídos de la página web www.huazhongcnc.com (CNC machines del fabricante HNC Products).

6.1.3. Torno CNC de bancada inclinada “DOOSAN LYNX 220 LM”

Centro de torneado de alta velocidad y precisión con estructura compacta, mediante carriles guía LM rígidos. Corte de alto rendimiento habilitado por un motor de eje de alta potencia, disponible con la función de fresado en el eje C

Figura 180. Máquina Herramienta CNC DOOSAN LYNX 220 LM



Fuente: www.DOOSAN.com

El modelo del torno corresponde LNYX 220LM con controlador FANUC 0i-TC, con las siguientes características técnicas:

- Máxima longitud de pieza de trabajo 510 mm
- Máxima longitud de corte 480 mm
- Máxima diámetro de corte 250 mm
- Rango de velocidades del eje con motor de frecuencia variable: 0 - 6000 RPM
- Potencia del motor principal 15 KW

Los datos y las especificaciones de este tipo de torno fueron extraídos de la página web www.DOOSAN.com (centros de torneado LYNX 220)

6.1.4. Fresadora CNC “HNC CNC Milling Machine XK7132”

Es una máquina con una estructura de tipo cama que puede venir con un dispositivo de protección entero o un dispositivo de semi – protección para garantizar la seguridad, con una buena precisión en las guías de los ejes X, Y y Z configurado con servomotores de CA.

Figura 181. Máquina Herramienta CNC HNC CNC Milling Machine XK7132



Fuente: www.huazhongcnc.com

El modelo de la fresa corresponde a la serie XK7132 con controlador HNC-21MD, con las siguientes características técnicas:

- Carrera del eje X 500 mm
- Carrera del eje Y 320 mm
- Carrera del eje Z 350 mm
- Distancia entre el husillo y la mesa de trabajo esta entre 80 – 430 mm
- Rango de velocidades del husillo: 3000 RPM
- Potencia del motor principal 2.2 KW

Los datos y las especificaciones de este tipo de torno fueron extraídos de la página web www.huazhongcnc.com (CNC machines del fabricante HNC Products).

6.2. OPERACIONES DE MECANIZADO

Un proceso de mecanizado es la sucesión ordenada de operaciones de mecanizado que son necesarias para la obtención de una pieza concreta. Para poder establecer esta secuencia, se deben conocer las operaciones básicas que se pueden ejecutar con la máquina-herramienta.

Una buena combinación de estas operaciones es fundamental para reducir los tiempos y los costos de fabricación. Las siguientes son las operaciones básicas realizables en un torno CNC:

- **Torneado longitudinal o cilindrado:** es la operación de torneado más común, en la que la herramienta se desplaza paralelamente al eje longitudinal de la pieza.

Figura 182. Cilindrado



Fuente: <http://www.presmat.es>

- **Refrentado:** El refrentado o frentado es una operación común en la que la herramienta tornea una cara perpendicular al eje de la pieza. Se puede frentear del centro hacia fuera o inversamente.

Figura 183. Refrentado



Fuente: <http://www.sandvik.coromant.com>

- **Copiado:** Esta operación se puede realizar hacia adentro o hacia fuera y con distintos ángulos. Algunas piezas tienen combinaciones de estos cortes y ángulos penetrantes que imponen exigencias sobre la accesibilidad que puede tenerse con la herramienta.

Figura 184. Copiado



Fuente: <http://www.sandvik.coromant.com>

- **Cortes perfilados (Ranurado):** Se realizan con herramientas a las que se les ha dado la forma específica que ha de cortarse. Los más comunes son distintos tipos de ranuras (con fondo recto o curvo), rebajes y chaflanes.

Figura 185. Ranurado



Fuente: <http://www.sandvik.coromant.com>

- **Roscado:** Se realiza cuando la pieza requiere una parte roscada exterior o interior. Esta operación también puede hacerse en un plano inclinado (roscas cónicas) o en un frente (roscas frontales).

Figura 186. Roscado



Fuente: <http://www.sandvik.coromant.com>

- **Taladrado:** Consiste en realizar un agujero concéntrico con el eje de giro en aquellas piezas que tienen una forma interior determinada. Se permite de esa manera la posterior entrada de otras herramientas. De esta forma, usualmente es una operación previa para un torneado interior.

Figura 187. Taladrado



Fuente: Los Autores

- **Torneado interior o mandrinado (ALESADO):** se realiza en una pieza en la que se ha taladrado un agujero previamente o que ya lo posee por su proceso previo de obtención (fundido, forja, etc.). La mayoría de las operaciones descriptas con anterioridad para torneado exterior son aplicables para el torneado interior.

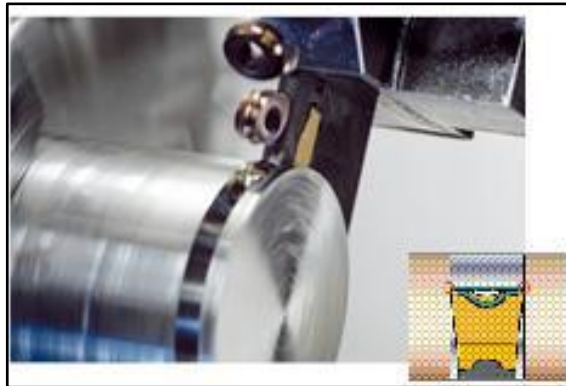
Figura 188. Alesado



Fuente: <http://www.sandvik.coromant.com>

- **Tronzado o corte de la pieza:** se realiza cuando ya está mecanizada la pieza, o al menos lo está por un lado y la debemos dar vuelta para un 2do amarre. Es un método de separar la pieza de una barra sin quitar ésta de la máquina.

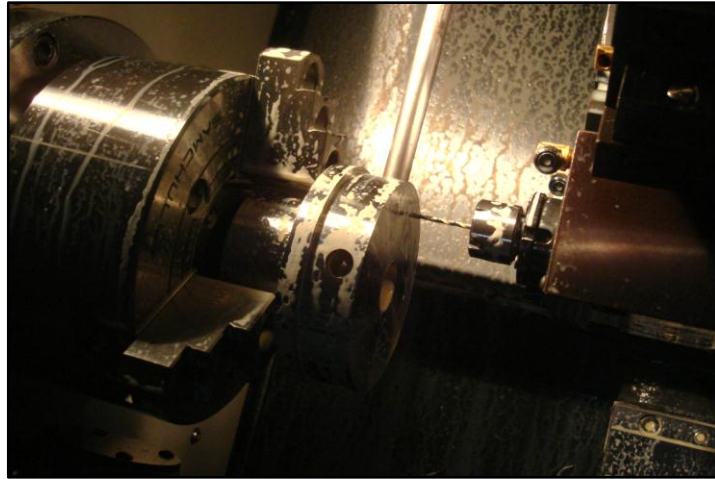
Figura 189. Tronzado



Fuente: <http://www.sandvik.coromant.com>

- **Taladrado complementario:** Se realiza esta operación en aquellas máquinas que tienen la opción de acoplar herramientas motorizadas. Sirve para completar el trabajo en piezas sencillas, evitando pasar por otra máquina. Puede realizarse en sentido axial o radial.

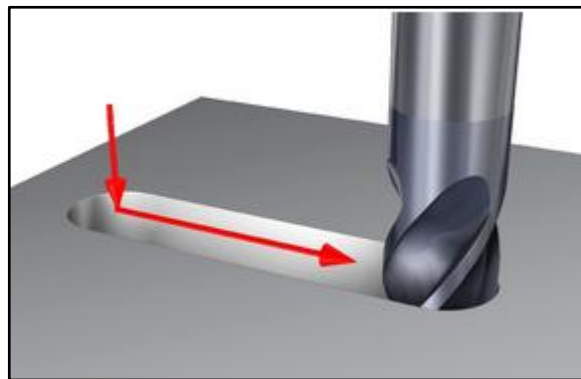
Figura 190. Taladrado complementario



Fuente: Los Autores

- **Escariado:** Se utiliza el escariado para eliminar muy poco material de agujeros, mejorando notablemente la calidad superficial del mismo. Es necesario el previo taladrado del agujero a un diámetro cercano al final, pues el escariado no elimina mucho material. Es necesario la utilización de lubricantes, para mejorar el resultado final y alargar la vida del escariador.

Figura 191. Escariado



Fuente: <http://www.sandvik.coromant.com>

Una fresadora es una máquina utilizada para realizar mecanizados por arranque de viruta, mediante el movimiento de una herramienta rotativa con varios filos de

corte denominada fresa. Generalmente, en cualquier tipo de fresadora la pieza se desplaza acercando sus zonas a mecanizar a dicha herramienta, con lo que se obtienen diferentes formas, a continuación se presentan las operaciones básicas realizadas en la fresadora para el mecanizado del prototipo de bomba:

- **Planeado:** una de las operaciones más frecuentes es el planeado, cuyo fin es conseguir superficies totalmente llanas y homogéneas; por tal razón el operario debe utilizar fresas para planear con plaquitas intercambiables de metal duro, así podrá escoger entre diferentes diámetros y también la cantidad que desea acoplar en cada herramienta.

Figura 192. Planeado



Fuente: <http://www.sandvik.coromant.com>

- **Taladrado, escariado y mandrinado:** estas operaciones consisten en realizar agujeros finos, cortos, o largos.

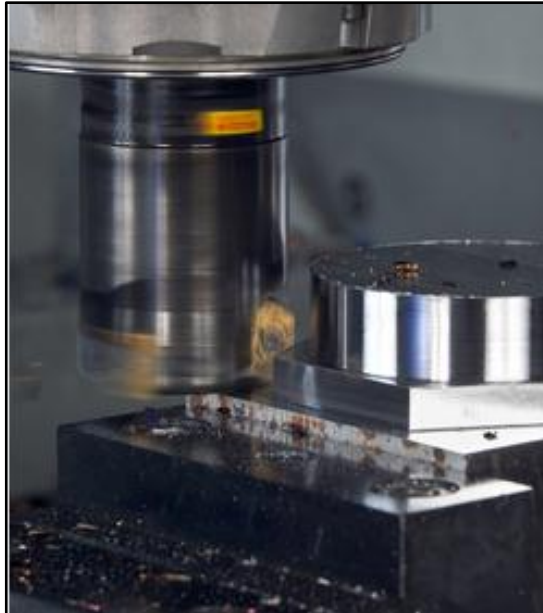
Figura 193. Taladrado fresa



Fuente: <http://www.sandvik.coromant.com>

- **Ranurado de forma:** este tipo de aplicación también consiste en crear ranuras de diferentes formas, para lo cual se utilizan fresas.

Figura 194. Ranurado de forma



Fuente: <http://www.sandvik.coromant.com>

6.3. HERRAMIENTAS DE CORTE DISPONIBLES EN EL LABORATORIO DE CNC DEL SENA

A continuación se presentan las herramientas de corte utilizadas para el mecanizado de las piezas en las maquinas herramientas CNC disponibles en el laboratorio CNC del SENA.

6.3.1. Herramientas utilizadas para las operaciones de desbaste

- Herramienta de corte DWLNL 2020 K08 del fabricante SANDVIK que utiliza un inserto de referencia WNMG080408 para procesos de mecanizado en el torno DOOSAN LYNX 220LM.

Figura 195. Herramienta de corte DWLNL 2020 K08



Fuente: Los Autores

- Herramienta de corte MWLNR 2525 K08 del fabricante Hard-Tools que utiliza un inserto de referencia WNMG080408 para procesos de mecanizado en el torno SHENYANG MACHINE TOOL CO., LTD. Serie CAK 5085 di.

Figura 196. Herramienta de corte MWLNR 2525 K08



Fuente: www.cedifer.com

6.3.2. Herramientas utilizadas para operaciones de acabado

- Herramienta de corte MCLNR 2525 K12 del fabricante Hard-Tools que utiliza un inserto de referencia CNMG120408 para procesos de mecanizado en el torno SHENYANG MACHINE TOOL CO., LTD. Serie CAK 5085 di.

Figura 197. Herramienta de corte MCLNR 2525 K12



Fuente: www.cedifer.com

- Herramienta de corte MVJNL 2020 K16 del fabricante KENNAMETAL que utiliza un inserto de referencia VNMG160404 para procesos de mecanizado en el torno DOOSAN LYNX 220LM.

Figura 198. Herramienta de corte MVJNL 2020 K16



Fuente: Los Autores

6.3.3. Herramientas utilizadas para el desbaste y acabado en operaciones de alesado

- Herramienta de corte S16Q-SCLCR09 del fabricante CHAIN que utiliza un inserto de referencia CCMT09T304 para procesos de mecanizado en el torno

DOOSAN LYNX 220LM y en el torno SHENYANG MACHINE TOOL CO., LTD. Serie CAK 5085 di.

Figura 199. Herramienta de corte S16Q-SCLCR09



Fuente: <http://www.carbidenz.co.nz>

- Herramienta de corte A16R-SCLCLC09 del fabricante KENNAMETAL que utiliza un inserto de referencia CCMT09T304 para procesos de mecanizado en el torno DOOSAN LYNX 220LM y en el torno SHENYANG MACHINE TOOL CO., LTD. Serie CAK 5085 di.

Figura 200. Herramienta de corte A16R-SCLCLC09



Fuente: Los Autores

- Herramienta de corte A08J-SCLCL06 del fabricante KENNAMETAL que utiliza un inserto de referencia CCMT060204 para procesos de mecanizado en el torno DOOSAN LYNX 220LM y en el torno SHENYANG MACHINE TOOL CO., LTD. Serie CAK 5085 di con un dispositivo diseñado como sistema de sujeción para este elemento.

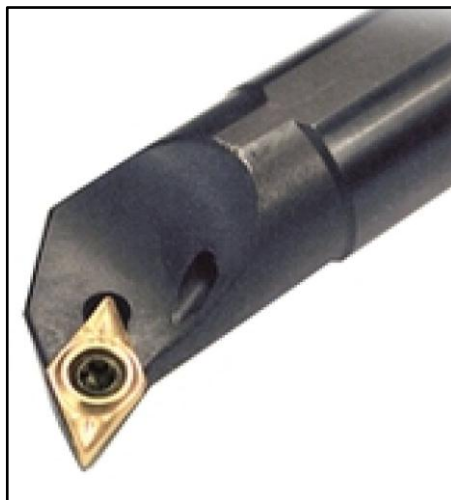
Figura 201. Herramienta de corte A08J-SCLCL06



Fuente: Los Autores

- Herramienta de corte A20Q SDUCR 07 del fabricante CERATIZIT que utiliza un inserto de referencia DCGT070204 para procesos de acabado en el torno SHENYANG MACHINE TOOL CO., LTD. Serie CAK 5085 di.

Figura 202. Herramienta de corte A20Q SDUCR 07

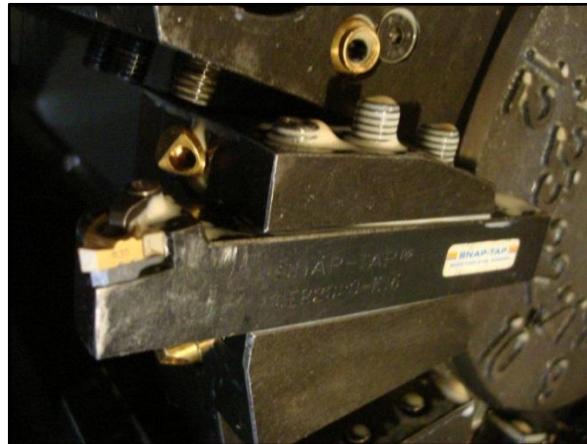


Fuente: www.fwt-gmbh.de.com

6.3.4. Herramientas utilizadas para el proceso de roscado

- Herramienta de corte SER2020 K16 del fabricante BANP-TAP que utiliza un inserto de referencia 266RG-16AC01F080E para procesos de roscado ACME y un inserto de referencia 266RG-VM001A002M para procesos de roscado métrico en el torno DOOSAN LYNX 220LM.

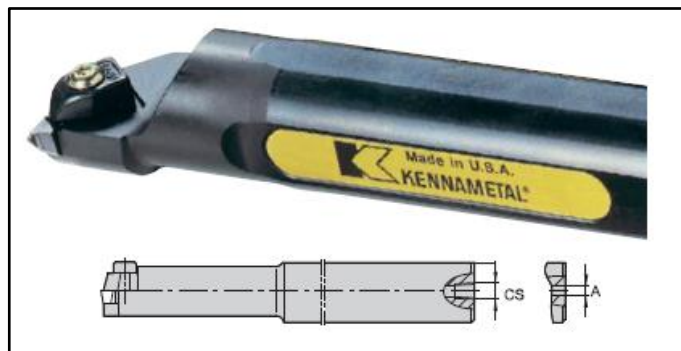
Figura 203. Herramienta de corte SER2020 K16



Fuente: Los Autores

- Herramienta de corte A12M-NTT0R2 del fabricante KENNAMETAL que utiliza un inserto de referencia NT2LK para operaciones de roscado métrico interno en el torno DOOSAN LYNX 220LM.

Figura 204. Herramienta de corte A12M-NTT0R2

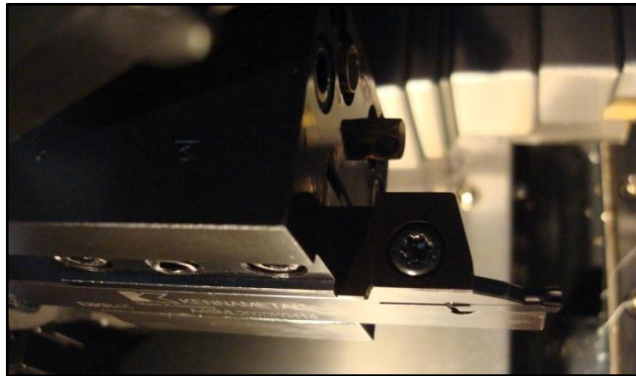


Fuente: www.KENNAMETAL.com

6.3.5. Herramientas utilizadas para procesos de ranurado

- Herramienta de corte A4SML2020K0414 del fabricante KENNAMETAL que utiliza un inserto de referencia A4C0405L10CR02 para operaciones de ranurado en el torno DOOSAN LYNX 220LM.

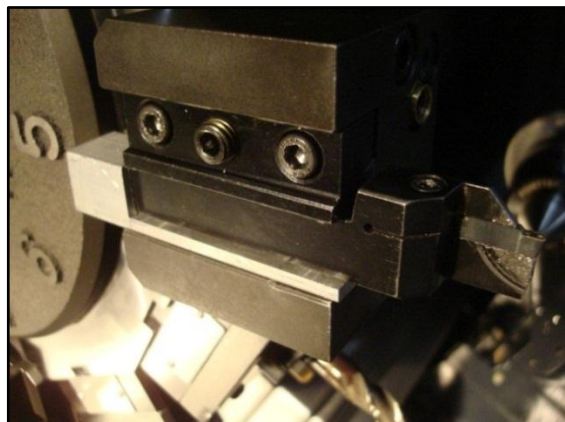
Figura 205. Herramienta de corte A4SML2020K0414



Fuente: Los Autores

- Herramienta de corte de la serie QE—L del fabricante CT-MX que utiliza un inserto de referencia A4C0305L10CF02 para operaciones de ranurado en el torno DOOSAN LYNX 220LM.

Figura 206. Herramienta de corte de la serie QE—L



Fuente: Los Autores

6.3.6. Herramientas utilizadas para procesos de tronzado.

- Herramienta de corte 151.21-30 del fabricante SANDVICK que utiliza un inserto de referencia N151.2-300-5E para operaciones de tronzado en el torno DOOSAN LYNX 220LM

Figura 207. Herramienta de corte 151.21-30

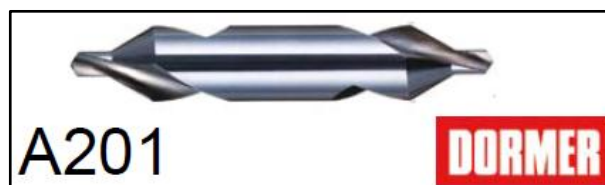


Fuente: Los Autores

6.3.7. Herramientas utilizadas para procesos de taladrado

- Broca de centro: Este tipo de broca es utilizada para perforar el agujero guía de las brocas que se requieran para un taladrado de determinado diámetro.

Figura 208. Broca de centro



Fuente: Catálogo DORMER

- Brocas de tamaño normal: Son utilizadas para perforar agujeros de poca profundidad. Los diámetros que fueron usados son de 1/16 in, 3/32 in, 2.5 mm, 3

mm, 5 mm, 6 mm, 8 mm, 8.5 mm, 10 mm, 11.5 mm, 12 mm, 16 mm, 18 mm, 20 mm.

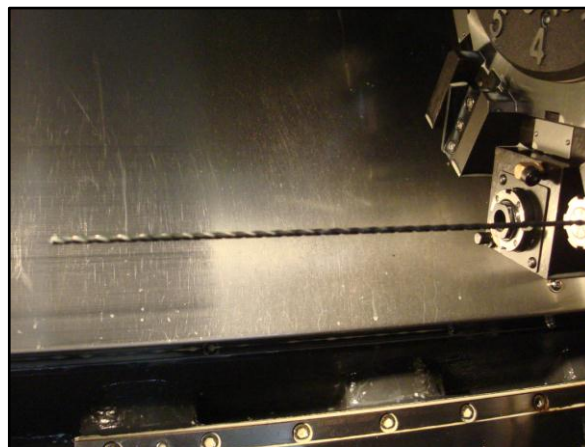
Figura 209. Brocas de tamaño normal



Fuente: Los Autores

- Brocas largas y extralargas: fueron utilizadas en algunas operaciones donde el diseño requiera de cuñeros circulares de longitud considerable.

Figura 210. Broca extralarga



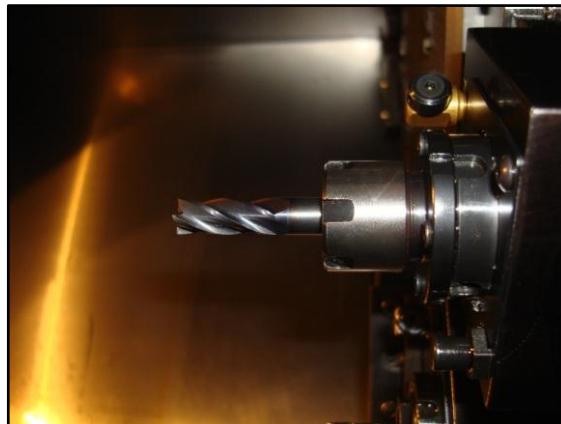
Fuente: Los Autores

6.3.8. Herramientas utilizadas para procesos de fresado

- Herramienta de fresado S250 / S256 del fabricante DORMER para procesos de escariado en el torno DOOSAN LYNX 220LM.

-

Figura 211. Herramienta de fresado S250 / S256



Fuente: Los Autores

- Herramienta de fresado S250 / S256 del fabricante DORMER para procesos de contorno, planeado y acanalado en la fresa HNC CNC Milling Machine XK7132.

Figura 212. Herramienta de fresado S250 / S256 2



Fuente: Los Autores

6.4. SELECCIÓN DE HERRAMIENTAS DE CORTE

Debido a que en el laboratorio de CNC del SENA no se contaba con algunos porta plaquitas ni insertos, surgió la necesidad de seleccionarlos por catálogo para llevar a cabo algunos procesos de mecanizado del prototipo de bomba de desplazamiento positivo.

Los elementos se seleccionaron del fabricante SANDVIK y fueron comprados por intermedio del proveedor EFIMEC.

6.4.1. Selección de insertos para rosca métrica

El diseño de las roscas para el ensamble del cuerpo del prototipo de bomba (Tapa de la Bomba – Camisa Guía – Cámara de Bombeo) fue planteado para una rosca métrica de dos milímetros de paso en los tres elementos.

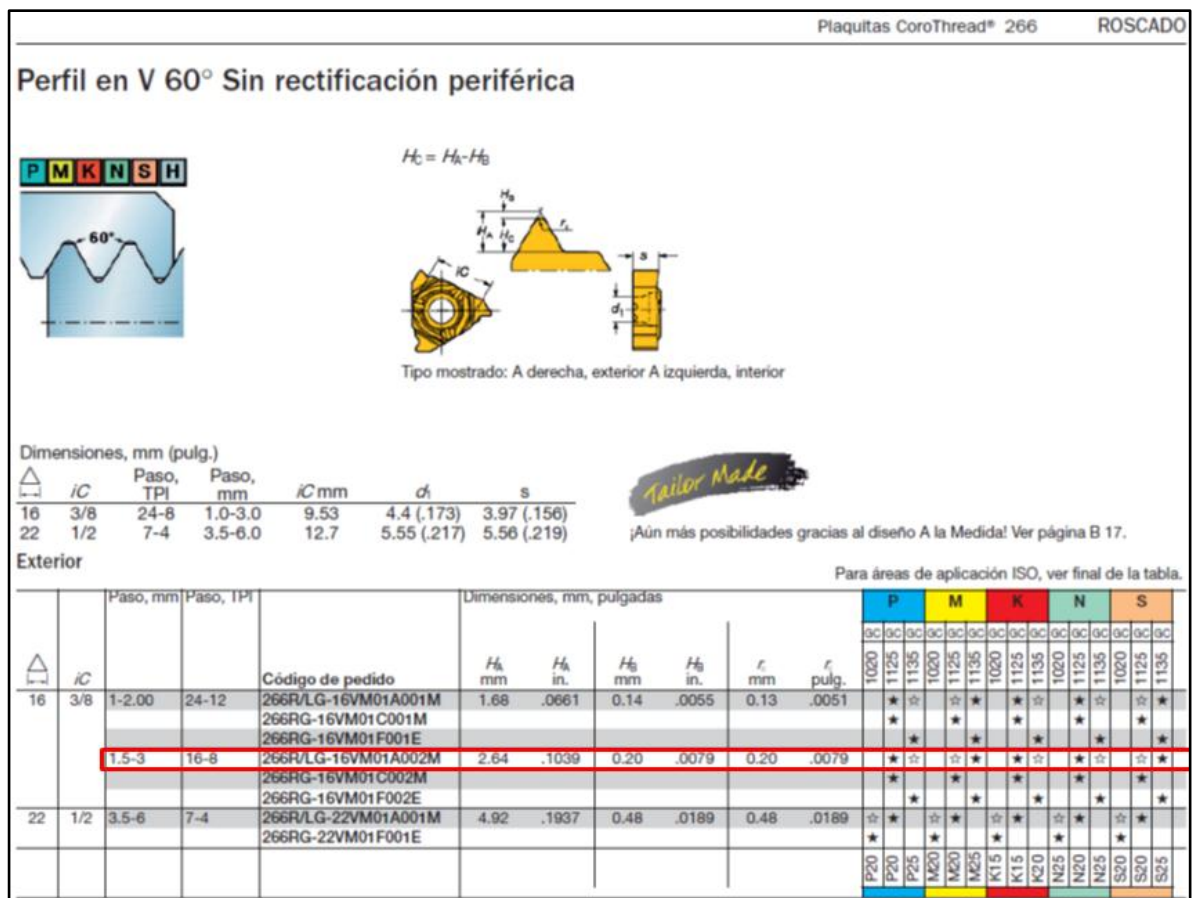
- Como primer etapa para la selección del inserto se debió revisar en el inventario de porta plaquitas, aquel que estuviera disponible en el laboratorio de CNC del SENA, para ejecutar procesos de roscado exterior, para luego adaptar a este el inserto que cumpliera con los parámetros de la rosca.

La referencia del porta plaquitas disponible es SER2020 K16 (ver Figura 203)

- Como segunda etapa se buscó el inserto cuyas dimensiones se adaptan al porta plaquitas antes descrito y que cumple igualmente con las condiciones para la rosca planteadas en el diseño del prototipo de bomba.

Se seleccionó del catálogo el inserto con referencia 266RG-VM01A002M con calidad 1135.

Figura 213. Selección de inserto para rosca métrica



Fuente: Catálogo SANDVIK

6.4.2. Selección del inserto para roscado exterior tipo ACME

Para cumplir con el diseño de la transmisión de potencia, se requería de un inserto con la capacidad de mecanizar un perfil de rosca tipo ACME para un paso de 8 hilos/in.

- Como primer etapa para la selección del inserto se debió revisar en el inventario de porta plaquitas, aquel que estuviera disponible en el laboratorio de CNC del SENA para ejecutar procesos de roscado exterior, para luego adaptar a éste el inserto que cumpliera con los parámetros de la rosca. La referencia del porta plaquitas disponible es SER2020 K16 (ver Figura 203)

- Como segunda etapa se buscó el inserto cuyas dimensiones se adaptan al porta plaquitas antes descrito y que cumple igualmente con las condiciones para la rosca planteadas en el diseño del prototipo de bomba. Se seleccionó del catálogo el inserto con referencia 266RG-16AC01F080E con calidad 1135.

Figura 214. Selección del inserto para roscado exterior tipo ACME

ROSCADO Plaquitas CoroThread® 266

ACME 29° forma de cresta achaflanada

Roscas de tornillo trapezoidal para transmisión de movimientos.

ANSI B1.5-1988
Tolerancia clase 2G

Dimensiones, mm (pulg.)

Δ	iC	Paso, TPI	iC mm	d_1	s
16	3/8	16-8	9.53	4.4 (.173)	3.97 (.156)
22	1/2	6-4	12.7	5.5 (.217)	5.56 (.219)
27	5/8	3	15.9	6.5 (.256)	7.0 (.276)

Tailor Made

¡Aún más posibilidades gracias al diseño A la Medida! Ver página B 17.

Exterior

Para áreas de aplicación ISO, ver final de la tabla.

Δ	iC	Paso, TPI	Código de pedido	Dimensiones, milímetros, pulgadas (mm, pulg.)						P M K N S							
				H_A mm	H_A in.	H_B mm	H_B in.	W mm	W pulg.	1020	1135	1020	1135	1020	1135		
16	3/8		266RG-16AC01F160E	1.98	.0780	1.04	.0409	0.54	.0213	*	*	*	*	*	*		
		14	266RG-16AC01F140E	2.26	.0890	1.21	.0476	0.63	.0248	*	*	*	*	*	*		
		12	266R/LG-16AC01F120E	2.64	.1039	1.43	.0563	0.74	.0291	*	*	*	*	*	*		
		10	266R/LG-16AC01F100E	3.16	.1244	1.61	.0634	0.83	.0327	*	*	*	*	*	*		
22	1/2	8	266R/LG-16AC01F080E	3.94	.1551	2.08	.0819	1.08	.0425	*	*	*	*	*	*		
		6	266R/LG-22AC01F060E	5.25	.2067	2.84	.1118	1.47	.0579	*	*	*	*	*	*		
		5	266R/LG-22AC01F050E	6.29	.2476	3.47	.1366	1.79	.0705	*	*	*	*	*	*		
		4	266R/LG-22AC01F040E	7.87	.3098	4.41	.1736	2.28	.0898	*	*	*	*	*	*		
27	5/8	3	266RG-27AC01F030E	10.47	.4122	5.95	.2343	3.08	.1213	*	*	*	*	*	*		
										P20	P25	M20	M25	K15	K20	N25	N25

- Como primera etapa se estudió el inventario de herramientas para roscado interior disponibles en el laboratorio de CNC del SENA, notando que ninguno de estos se adaptaba a las necesidades para el tipo de rosca interna al no pasar por el diámetro interno pre-mecanizado para la rosca.
- Como segunda etapa se estudio en el catálogo del fabricante que tipo de herramientas podrían ejecutar el tipo de rosca que se requería, encontrando como posibilidad el sistema “CoroCut MB” para el mecanizado de componentes de gran precisión.
- Como tercera etapa se busco el tipo de inserto adecuado para el mecanizado interno de la rosca planteada, obteniendo del catálogo el inserto con referencia MB-07TH080AC-11R.

Figura 215. Selección del inserto para roscado interior tipo ACME

CoroCut® MB – Plaquitas

TRONZADO Y RANURADO

Plaquitas CoroCut® MB

Roscado

ACME 29°

Sin acabado superior

STUB-ACME 29°

Sin acabado superior

Tolerancias, mm (pulgadas):

$f_1 = \pm 0.02 (\pm .008)$

Altura del centro:

$+0.05/-0 (+.002/-0)$

Para áreas de aplicación ISO, ver final de la tabla.

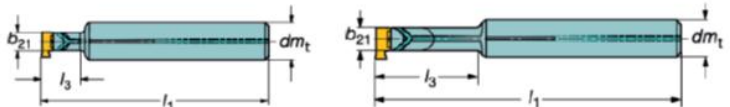
A derechas en la ilustración

Tamaño de plaquita ¹⁾		Paso, TPI	Código de pedido	Dimensiones, milímetros, pulgadas (mm, pulg.)														P M N S			
				a máx. mm	a máx. pulg.	D_m mín. mm	D_m mín. pulg.	f_1 mm	f_1 pulg.	h mm	h pulg.	h mm	h pulg.	W_t mm	W_t pulg.	GC	GC	GC	GC		
d_{m1}		H.P.P.	Acme 29°															1025	1025	1025	1025
	07	8	MB-07TH080AC-11R	1.87	.074	11	.433	6.8	.268	2.8	.110	3.9	.154	1.03	.041	☆	☆	☆	☆		
		10	MB-07TH100AC-11R	1.54	.061	11	.433	6.8	.268	3	.118	3.9	.154	0.8	.032	☆	☆	☆	☆		
		12	MB-07TH120AC-11R	1.2	.047	11	.433	6.8	.268	3.1	.122	3.9	.154	0.71	.028	☆	☆	☆	☆		
		14	MB-07TH140AC-11R	1.05	.041	11	.433	6.8	.268	3.2	.126	3.9	.154	0.6	.024	☆	☆	☆	☆		
		16	MB-07TH160AC-11R	0.93	.037	11	.433	6.8	.268	3.3	.130	3.9	.154	0.52	.020	☆	☆	☆	☆		

Fuente: Catálogo SANDVIK

- Siguiendo a este paso se buscó el porta plaquitas que se adaptara a las condiciones de este inserto, además de tener en cuenta la longitud para el mecanizado de la rosca ACME, obteniendo el porta plaquitas de referencia MB-E12-48-07R.

Figura 216. Porta plaquitas para roscado interior tipo ACME

CoroCut® MB – Barras de mandrinar						
TRONZADO Y RANURADO						
CoroCut® MB						
Barras de mandrinar						
Cilíndrico						
Con ranura para manguito EasyFix						
MB-A Mango de acero MB-E Mango de metal duro 						
Todos con suministro de refrigerante interior						
Versión métrica						
Diám. de barra	Tamaño de plaquita ¹⁾	Código de pedido	Dimensiones, mm			
dm			b_{21}	l_3	l_1	Plaquetas calibradoras
12	07	MB-E12-24-07R	7.4	92	24	MB-07...
12		MB-E12-32-07R	7.4	100	32	MB-07...
12		MB-E12-48-07R	7.4	115	48	MB-07...
16		MB-A16-16-07R	7.4	97	16	MB-07...
12	09	MB-E12-34-09R	9.5	100	34	MB-09...
12		MB-E12-45-09R	9.5	110	45	MB-09...
12		MB-E12-64-09R	9.5	130	64	MB-09...
16		MB-A16-20-09R	9.5	100	20	MB-09...
16		MB-E16-34-09R	9.5	100	34	MB-09...
16		MB-E16-45-09R	9.5	110	45	MB-09...
16		MB-E16-64-09R	9.5	130	64	MB-09...

Fuente: Catálogo SANDVIK

6.4.4. Selección del inserto para el proceso de tronizado

Como último proceso de mecanizado para algunas de las piezas, se debe efectuar el proceso de tronizado para finalizar la manufactura de la misma, para el cual se disponía de un porta plaquitas de referencia 151.2-21-30 de fabricante SANDVIK, pero no de los insertos.

Por tanto se seleccionó del catálogo el inserto de referencia N151.2-300-5E de calidad 2135.

Figura 217. Selección del inserto para el tronzado

T-Max Q-Cut®
Tronzado

Para áreas de aplicación ISO, ver final de la tabla.

Tolerancias, mm (pulgadas):
 3F
 $l_d = \pm 0.03 (\pm .001)$
 $r_s = \pm 0.03 (\pm .001)$
 4E, 5E
 $l_d = +0.25/0 (+.010/0)$
 $r_s = \pm 0.10 (\pm .004)$

	Criterios de selección, milímetros, pulgadas (mm, pulg.)				Tamaño de asiento ¹⁾	Código de pedido	P M K N S												
	l_d mm	l_d pulg.	r_s mm	r_s pulg.			1125	1145	2135	2135	2135	2135	2135	2135	2135	2135	2135	2135	
Avance reducido 	1.57	.062	0°	0.08	.003	15	N151.2-A062-15-3F	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	
	2.39	.094	0°	0.08	.003	25	N151.2-A094-25-3F	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	
	2.39	.094	15°	0.08	.003		R151.2-A094-15-25-3F	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	
	2.39	.094	10°	0.08	.003		R151.2-A094-10-25-3F	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	
	2.39	.094	5°	0.08	.003		R151.2-A094-05-25-3F	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	
	3.17	.125	0°	0.08	.003	30	N151.2-A125-30-3F	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	
	3.17	.125	15°	0.08	.003		R151.2-A125-15-30-3F	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	
	3.17	.125	10°	0.08	.003		R151.2-A125-10-30-3F	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	
	3.17	.125	5°	0.08	.003		R151.2-A125-05-30-3F	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	
	3.96	.156	15°	0.08	.003	40	R151.2-A156-15-40-3F	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	
Avance medio 	2.00	.079	0°	0.20	.008	20	N151.2-200-5E	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
	2.50	.098	0°	0.20	.008	25	N151.2-250-5E	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
	3.00	.118	0°	0.20	.008	30	N151.2-300-5E	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
	3.00	.118	5°	0.20	.008		R/L151.2-300 05-5E	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
	4.00	.157	0°	0.20	.008	40	N151.2-400-5E	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
	4.00	.157	5°	0.20	.008		R/L151.2-400 05-5E	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
	5.00	.197	0°	0.20	.008	50	N151.2-500-5E	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
	5.00	.197	5°	0.20	.008		R151.2-500 05-5E	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	
	6.00	.236	0°	0.20	.008	60	N151.2-600-5E	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
	6.00	.236	5°	0.20	.008		R151.2-600 05-5E	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
	6.00	.236	5°	0.20	.008		L151.2-600 05-5E	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	

Fuente: Catálogo SANDVIK

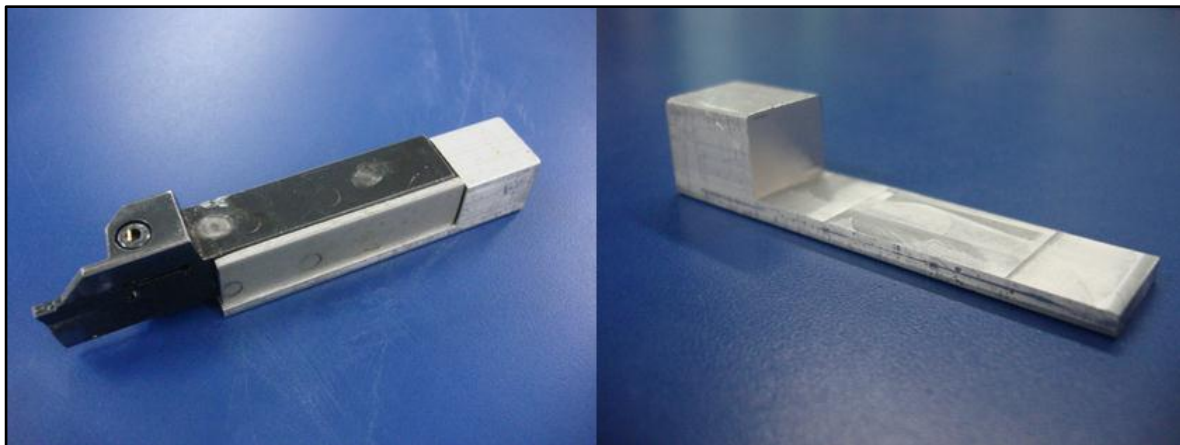
6.5. DISEÑO Y ADECUACIÓN DE ALGUNOS SISTEMAS DE SUJECIÓN

Como consecuencia del diseño se tuvo que en algunas operaciones durante el proceso mecanizado de las piezas que conforman la bomba, no era posible alcanzar algunas de las dimensiones, igualmente se presentaba el riesgo que las maquinas herramientas utilizadas pudieran estrellarse ó que el conjunto de las herramientas de corte para el mecanizado llegaran a fracturarse por no tener un buen sistema de agarre.

Contemplando lo mencionado anteriormente surge la necesidad de crear algunos sistemas de sujeción para mantener la integridad de los equipos, operarios y herramientas disponibles.

- Sistema de sujeción para la herramienta de ranurar de referencia serie QE—L (ver herramienta Figura 206):

Figura 218. Sistema de sujeción uno



Fuente: Los Autores

- Sistema de sujeción para la herramienta de roscado interior de referencia MB-E12-48-07R (ver herramienta figura 216)

Figura 219. Sistema de sujeción dos



Fuente: Los Autores

- Sistema de sujeción para la herramienta de alesado de referencia A08J-SCLCL06 (ver herramienta Figura 201)

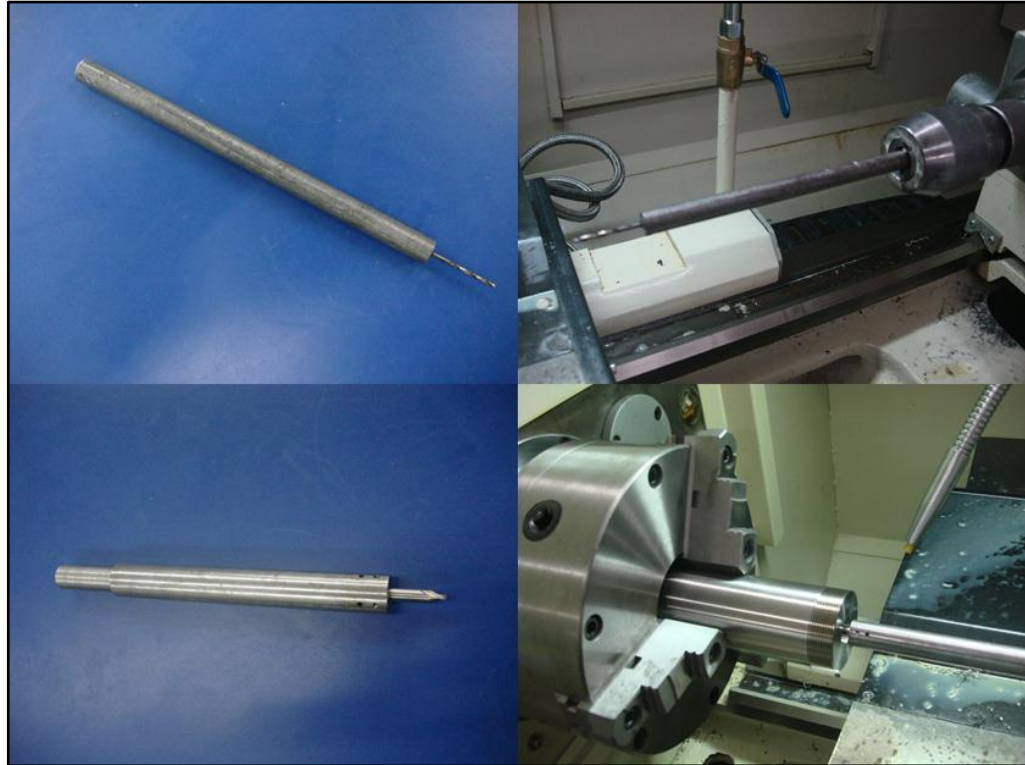
Figura 220. Sistema de sujeción tres



Fuente: Los Autores

- Sistema de sujeción para las brocas normales en procesos de taladrado profundo: se requirió de este sistema para poder realizar el agujero de centro y perforación del canal que comunica el sistema de succión y descarga en la cámara de bombeo.

Figura 221. Sistema de sujeción para brocas



Fuente: Los Autores

6.6. PROCESOS DE MECANIZADO

Los parámetros de corte para cada una de las piezas son expuestos en los siguientes numerales.

6.6.1. Pistón Tapa

El material establecido para esta pieza es el acero AISI 4340, con las siguientes dimensiones:

- Diámetro exterior de 57.15 mm
- Largo 70 mm

Los parámetros de corte son definidos mediante catálogos de acuerdo a la calidad de las herramientas disponibles y en otros casos, utilizando parámetros

recomendados en el libro “Engineering Properties of Steels, de Philip. D HARVEY”.

Figura 222. Proceso Mecanizado Pistón Tapa



Fuente: Los Autores

6.6.1.1. Procesos de mecanizado

En el caso del acero AISI 4340 la información del libro “Engineering Properties of Steels, de Philip. D HARVEY”, recomienda usar las tablas para procesos de mecanizado del acero AISI 1340.

- Parámetros de corte para procesos de torneado en general según el libro “Engineering Properties of Steels, de Philip. D HARVEY”:

Con la dureza del acero AISI 4340 (217HB) y el material de la plaquita utilizada (metal duro recubierto), se busca en la tabla “AISI 1340,1340H: Turning (Single Point and Box Tools)”, presente en el anexo C la velocidad de corte para una profundidad de 1mm.

$$V_C = 200 \text{ m/min}$$

$$f_n = 0.18 \text{ mm/rev}$$

$$a_p = 1 \text{ mm}$$

- Parámetros de corte para procesos de desbaste: como no se cuenta con el catálogo del fabricante, se tomó como guía los parámetros de corte presentes en la tabla mencionada anteriormente presente en el anexo C; modificados por sugerencia del Instructor a cargo en el laboratorio de CNC del SENA Ricardo Pabón.

$$V_C = 180 \text{ m/min}$$

$$f_n = 0.3 \text{ mm/rev}$$

$$a_p = 0.5 \text{ mm}$$

- Parámetros de corte para procesos de acabado: se toma como referencia el catálogo del fabricante “Walter Tiger Tec” para establecer los parámetros de corte siguiendo las fichas presentes en el anexo D.

Referencia de plaquita: VNMG160404-MNS calidad WPP20

$$V_C = 160-180 \text{ m/min}$$

$$f_n = 0.08-0.16 \text{ mm/rev}$$

$$a_p = 0.5-1.5 \text{ mm}$$

Los parámetros fueron modificados por sugerencia del Instructor a cargo en el laboratorio de CNC del SENA Ricardo Pabón.

$$V_C = 190 \text{ m/min}$$

$$f_n = 0.1 \text{ mm/rev}$$

$$a_p = 0.1 \text{ mm}$$

- Parámetros de corte para procesos de fresado con el eje "C": como no se cuenta con el catálogo del fabricante del escariador, se tomó como guía los parámetros de corte de la tabla "AISI 1340,1340H: Face Milling", presente en el anexo C. Con la dureza del acero AISI 4340 (217HB) y el material del escariador utilizado (metal duro recubierto), se busca en la tabla la velocidad de corte para una profundidad de 1mm.

$$V_C = 170 \text{ m/min}$$

$$f_{n/\text{diente}} = 0.2 \text{ mm}$$

$$a_p = 1 \text{ mm}$$

Los parámetros anteriores fueron modificados por sugerencia del Instructor a cargo en el laboratorio de CNC del SENA Ricardo Pabón.

$$V_C = 1750 \text{ RPM}$$

$$f_n = 180 \text{ mm/min}$$

$$a_p = 0.3 \text{ mm}$$

- Parámetros de corte para procesos de taladrado: como no se cuenta con el catálogo del fabricante de la broca, se tomó como guía los parámetros de corte de la tabla "AISI 1340,1340H: Drilling", presentes en el anexo C. Con la dureza del acero AISI 4340 (217HB) y el material de la broca utilizada (acero rápido HSS), se busca en la tabla la velocidad de corte para un diámetro de la herramienta de 3 mm.

$$V_C = 20 \text{ m/min}$$

$$f_n = 0.075 \text{ mm/rev}$$

Los parámetros anteriores fueron modificados de la siguiente manera.

$$V_C = 1200 \text{ RPM}$$

$$f_n = 0.05 \text{ mm/rev}$$

- Parámetros de corte para procesos de desbaste y acabado en operaciones de alesado: se toma como referencia el catálogo del fabricante “Kennametal” para establecer los parámetros de corte siguiendo las fichas presentes en el anexo E.

Referencia de la plaquita: CCMT060204-LF K9110

$$V_C = 90\text{-}195 \text{ m/min}$$

$$f_n = 0.2\text{-}0.4 \text{ mm/rev}$$

$$a_p = 1.1\text{-}2.3 \text{ mm}$$

Los parámetros de desbaste fueron definidos de la siguiente manera:

$$V_C = 180 \text{ m/min}$$

$$f_n = 0.15 \text{ mm/rev}$$

$$a_p = 0.27 \text{ mm}$$

Los parámetros de acabado fueron definidos de la siguiente manera:

$$V_C = 190 \text{ m/min}$$

$$f_n = 0.15 \text{ mm/rev}$$

$$a_p = 0.1 \text{ mm}$$

- Parámetros de corte para procesos de ranurado: se toma como referencia el catálogo del fabricante “Kennametal” para establecer los parámetros de corte siguiendo las fichas presentes en el anexo F.

Referencia de la plaquita: A4C0405L10CR02 K5025 rompeviruta GMC

$$V_C = 60\text{-}185 \text{ m/min}$$

$$f_n = 0.1\text{-}0.16 \text{ mm/rev}$$

$$a_p = 1.6\text{-}3 \text{ mm}$$

Los parámetros de desbaste en el ranurado fueron definidos de la siguiente manera:

$$V_C = 840 \text{ RPM}$$

$$f_n = 0.1 \text{ mm/rev}$$

$$a_p = 0.2 \text{ mm}$$

Los parámetros de acabado en el ranurado fueron definidos de la siguiente manera:

$$V_C = 850 \text{ RPM}$$

$$f_n = 0.1 \text{ mm/rev}$$

$$a_p = 0.1 \text{ mm}$$

- Parámetros de corte para procesos de tronzado: se toma como referencia el catálogo del fabricante “Sandvik” para establecer los parámetros de corte siguiendo las fichas presentes en el anexo G.

Referencia de la plaquita: N151.2-300-5E calidad 2135

$$V_C = 140-110 \text{ m/min}$$

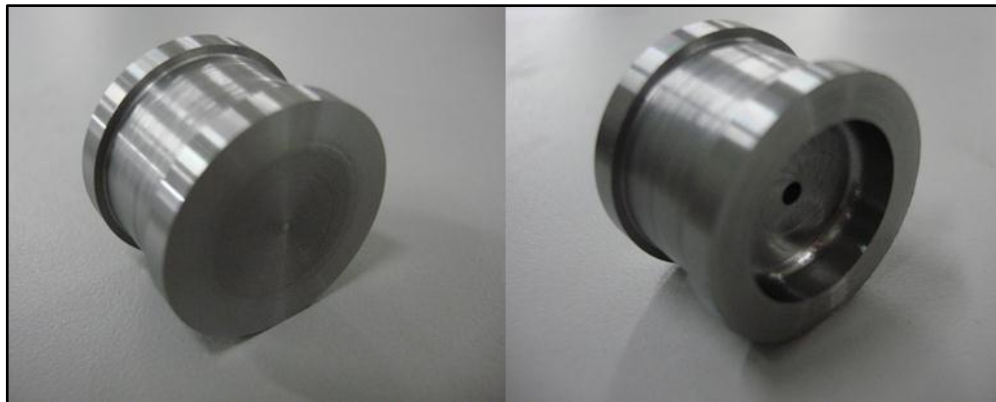
$$f_n = 0.05-0.5 \text{ mm/rev}$$

Los parámetros de tronzado fueron definidos por los siguientes:

$$V_C = 700 \text{ RPM}$$

$$f_n = 0.1 \text{ mm/rev}$$

Figura 223. Pistón Tapa Terminado



Fuente: Los Autores

6.6.2. Pistón

El material establecido para esta pieza es el acero AISI 4340, con las siguientes dimensiones:

- Diámetro exterior de 57.15 mm
- Largo 100 mm

6.6.2.1. Procesos de mecanizado

Para la selección de los parámetros de corte se aplica la metodología planteada para la manufactura del elemento anterior.

- Parámetros de corte para procesos de desbaste: como no se cuenta con el catálogo del fabricante, se tomó como guía los parámetros de corte presentes en la tabla “AISI 1340,1340H: Turning (Single Point and Box Tools)” presente en el anexo C; modificados por sugerencia del Instructor a cargo en el laboratorio de CNC del SENA Ricardo Pabón.

$$V_C = 180 \text{ m/min}$$

$$f_n = 0.5 \text{ mm/rev}$$

$$a_p = 0.5 \text{ mm}$$

- Parámetros de corte para procesos de acabado: se toma como referencia el catálogo del fabricante “Walter Tiger Tec” para establecer los parámetros de corte siguiendo las fichas presentes en el anexo D.

Referencia de plaquita: VNMG160404-MNS calidad WPP20

$$V_C = 160-180 \text{ m/min}$$

$$f_n = 0.08-0.16 \text{ mm/rev}$$

$$a_p = 0.5-1.5 \text{ mm}$$

Los parámetros fueron modificados por sugerencia del Instructor a cargo en el laboratorio de CNC del SENA Ricardo Pabón.

$$V_C = 190 \text{ m/min}$$

$$f_n = 0.2 \text{ mm/rev}$$

$$a_p = 0.1 \text{ mm}$$

- Parámetros de corte para procesos de fresado con el eje "C": como no se cuenta con el catálogo del fabricante del escariador, se tomó como guía los parámetros de corte de la tabla "AISI 1340,1340H: Face Milling", presente en el anexo C. Con la dureza del acero AISI 4340 (217HB) y el material del escariador utilizado (metal duro recubierto), se busca en la tabla la velocidad de corte para una profundidad de 1mm.

$$V_C = 170 \text{ m/min}$$

$$f_{n/diente} = 0.2 \text{ mm}$$

$$a_p = 1 \text{ mm}$$

Los parámetros anteriores fueron modificados por sugerencia del Instructor a cargo en el laboratorio de CNC del SENA Ricardo Pabón.

$$V_C = 1750 \text{ RPM}$$

$$f_n = 180 \text{ mm/min}$$

$$a_p = 0.3 \text{ mm}$$

- Parámetros de corte para procesos de desbaste y acabado en operaciones de alesado: se toma como referencia el catálogo del fabricante "Kennametal" para establecer los parámetros de corte siguiendo las fichas presentes en el anexo E.

Referencia de la plaquita: CCMT060204-LF K9110

$$V_C = 90-195 \text{ m/min}$$

$$f_n = 0.2-0.4 \text{ mm/rev}$$

$$a_p = 1.1-2.3 \text{ mm}$$

Los parámetros de desbaste fueron definidos por los siguientes:

$$V_C = 180 \text{ m/min}$$

$$f_n = 0.2 \text{ mm/rev}$$

$$a_p = 0.27 \text{ mm}$$

Los parámetros de acabado fueron definidos por los siguientes:

$$V_C = 190 \text{ m/min}$$

$$f_n = 0.1 \text{ mm/rev}$$

$$a_p = 0.1 \text{ mm}$$

- Parámetros de corte para procesos de taladrado: como no se cuenta con el catálogo del fabricante de la broca, se tomó como guía los parámetros de corte de la tabla “AISI 1340,1340H: Drilling”, presentes en el anexo C. Con la dureza del acero AISI 4340 (217HB) y el material de la broca utilizada (acero rápido HSS), se busca en la tabla la velocidad de corte para un diámetro de la herramienta de:

$$\varnothing = 3 \text{ mm}$$

$$V_C = 20 \text{ m/min}$$

$$f_n = 0.075 \text{ mm/rev}$$

$$\varnothing = 5 \text{ mm}$$

$$V_C = 20 \text{ m/min}$$

$$f_n = 0.15 \text{ mm/rev}$$

Los parámetros anteriores fueron modificados por los siguientes (para cualquier diámetro).

$$V_C = 1200 \text{ RPM}$$

$$f_n = 0.05 \text{ mm/rev}$$

- Parámetros de corte para procesos de ranurado: se toma como referencia el catálogo del fabricante “Kennametal” para establecer los parámetros de corte siguiendo las fichas presentes en el anexo F

Referencia de la plaquita: A4C0405L10CR02 K5025 rompeviruta GMC

$$V_C = 60-185 \text{ m/min}$$

$$f_n = 0.1-0.16 \text{ mm/rev}$$

$$a_p = 1.6-3 \text{ mm}$$

Los parámetros de desbaste en el ranurado fueron definidos de la siguiente manera:

$$V_C = 700 \text{ RPM}$$

$$f_n = 0.1 \text{ mm/rev}$$

$$a_p = 0.2 \text{ mm}$$

Los parámetros de acabado en el ranurado fueron definidos de la siguiente manera:

$$V_C = 700 \text{ RPM}$$

$$f_n = 0.1 \text{ mm/rev}$$

$$a_p = 0.1 \text{ mm}$$

- Parámetros de corte para procesos de tronzado: se toma como referencia el catálogo del fabricante “Sandvik” para establecer los parámetros de corte siguiendo las fichas presentes en el anexo G

Referencia de la plaquita: N151.2-300-5E calidad 2135

$$V_C = 140-110 \text{ m/min}$$

$$f_n = 0.05-0.5 \text{ mm/rev}$$

Los parámetros de tronzado fueron definidos por los siguientes:

$$V_C = 700 \text{ RPM}$$

$$f_n = 0.1 \text{ mm/rev}$$

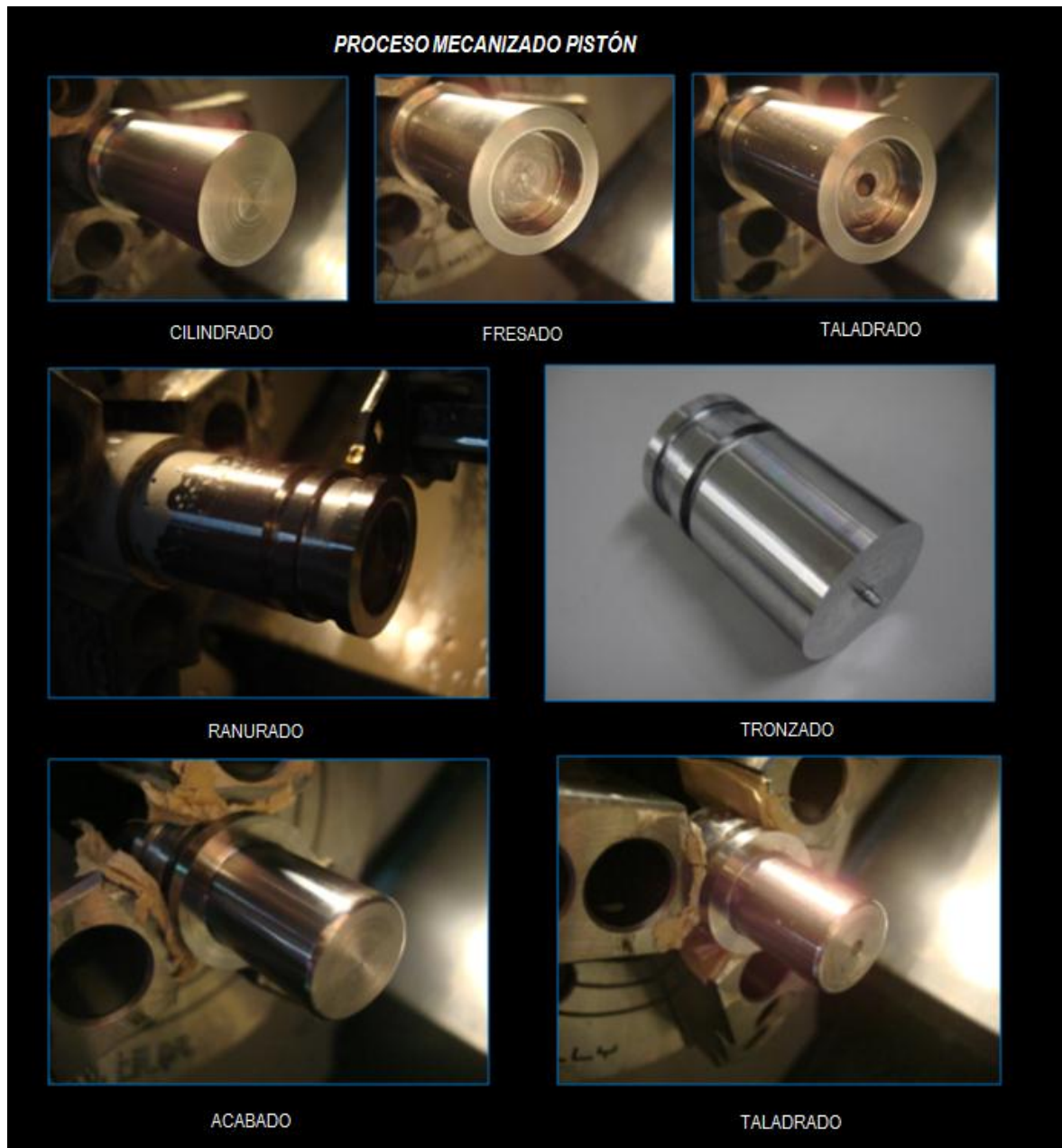
- Parámetros de corte para procesos de refrentado: se toma como referencia los parámetros de corte de la tabla “AISI 1340,1340H: Turning (Single Point and Box Tools)” presente en el anexo C; modificados por sugerencia del Instructor a cargo en el laboratorio de CNC del SENA Ricardo Pabón.

$$V_C = 180 \text{ m/min}$$

$$f_n = 0.3 \text{ mm/rev}$$

$$a_p = 0.5 \text{ mm}$$

Figura 224. Proceso Mecanizado Pistón



Fuente: Los Autores

Figura 225. Pistón Terminado



Fuente: Los Autores

6.6.3. Vástago

El material establecido para esta pieza es el acero AISI 304, con las siguientes dimensiones:

- Diámetro exterior de 38.1 mm
- Largo 150 mm

6.6.3.1. Procesos de mecanizado

En el caso del acero AISI 304 la información del libro “Engineering Properties of Steels, de Philip. D HARVEY”, recomienda usar las tablas para procesos de mecanizado del acero AISI 201.

- Parámetros de corte para procesos de taladrado: como no se cuenta con el catálogo del fabricante de la broca, se tomó como guía los parámetros de corte de la tabla "AISI Type 201: Drilling" presentes en el anexo C. Con la dureza del acero AISI 304 (123HB) y el material de la broca utilizada (acero rápido HSS), se busca en la tabla la velocidad de corte para un diámetro de la herramienta.

$V_C = 18 \text{ m/min}$

$\varnothing 3\text{mm} = 1900 \text{ RPM}$

$\varnothing 6\text{mm} = 955 \text{ RPM}$

$\varnothing 12\text{mm} = 477.5 \text{ RPM}$

$\varnothing 16\text{mm} = 358 \text{ RPM}$

Los procesos fueron ejecutados manualmente.

Figura 226. Proceso Mecanizado Vástago (primera fase)



Fuente: Los Autores

Para las operaciones de corte que fueron programadas en el eje “C” se establecieron los siguientes parámetros de corte.

$$V_C = 18 \text{ m/min}$$

$$\varnothing 3\text{mm} = 1200 \text{ RPM}$$

$$f_n = 0.05 \text{ mm/rev}$$

$$\varnothing 6\text{mm} = 955 \text{ RPM}$$

$$f_n = 0.1 \text{ mm/rev}$$

- Parámetros de corte para procesos de desbaste y acabado en operaciones de alesado: se toma como referencia el catálogo del fabricante “Kennametal” para establecer los parámetros de corte presentes siguiendo las fichas en el anexo E. Que sin embargo deben ser adaptados pues la calidad de la plaquita no es apropiada para mecanizar aceros inoxidable.

Referencia de la plaquita: CCMT060204-LF K9110 para material M1 (304)

Los parámetros de desbaste fueron definidos de la siguiente manera:

$$V_C = 900 \text{ RPM}$$

$$f_n = 0.1 \text{ mm/rev}$$

$$a_p = 0.1 \text{ mm}$$

Los parámetros de acabado fueron definidos de la siguiente manera:

$$V_C = 950 \text{ m/min}$$

$$f_n = 0.1 \text{ mm/rev}$$

$$a_p = 0.1 \text{ mm}$$

- Parámetros de corte para procesos de torneado en general según el libro “Engineering Properties of Steels, de Philip. D HARVEY”:

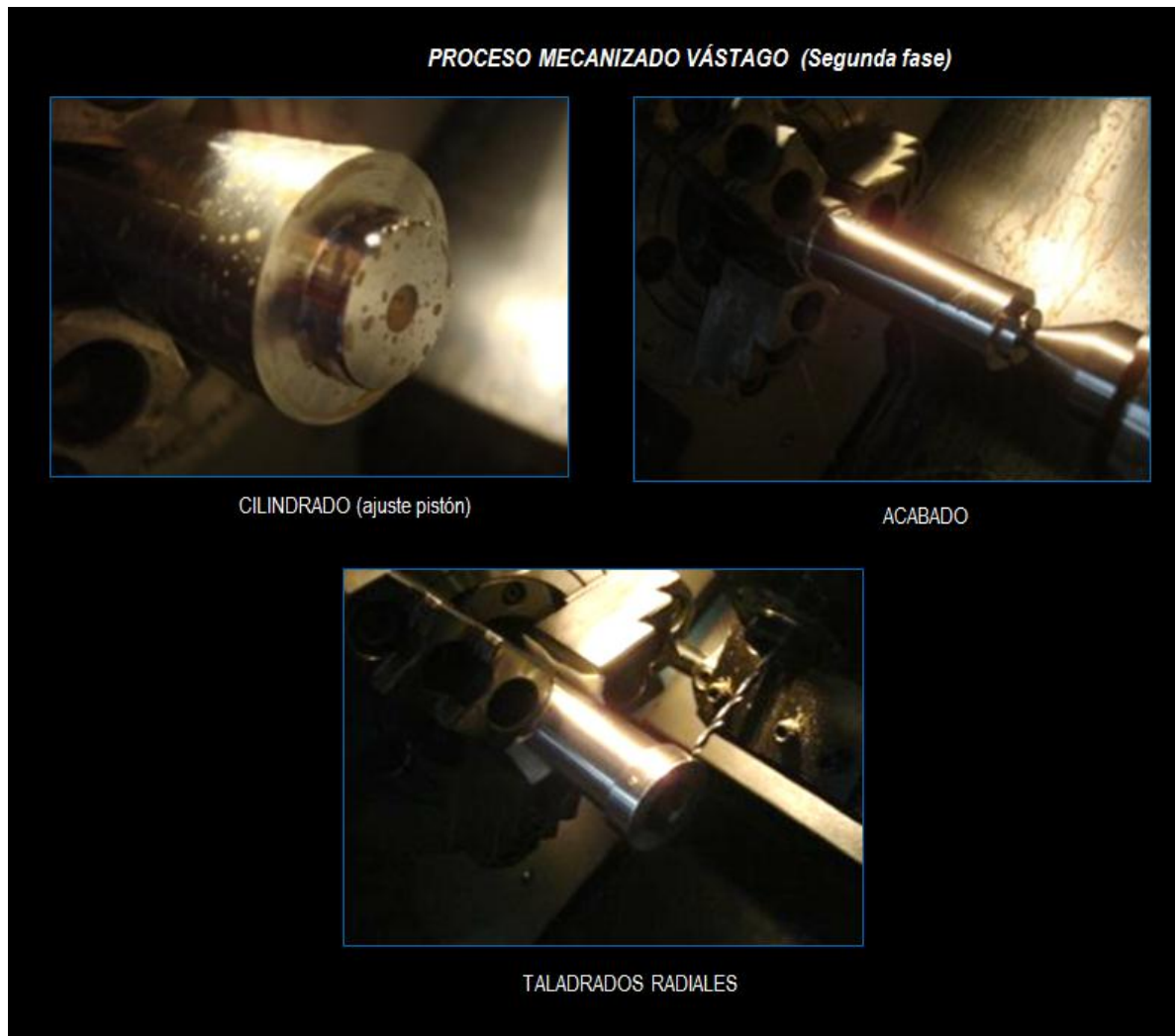
Con la dureza del acero AISI 304 (123HB) y el material de la plaquita utilizada (metal duro recubierto), se busca en la tabla “AISI Type 201: Turning (Single Point and Box Tools)” del anexo C la velocidad de corte para una profundidad de 1mm.

$$V_C = 160 \text{ m/min}$$

$f_n = 0.18 \text{ mm/rev}$

$a_p = 1 \text{ mm}$

Figura 227. Proceso Mecanizado Vástago (segunda fase)



Fuente: Los Autores

- Parametros de corte para procesos de desbaste: como no se cuenta con el catálogo del fabricante se tomo como guía los parámetros de la tabla "AISI Type 201: Turning (Single Point and Box Tools)" presentes en el anexo C, modificados por sugerencia del Instructor a cargo en el laboratorio de CNC del SENA Ricardo Pabón.

$$V_C = 180 \text{ m/min}$$

$$f_n = 0.3 \text{ mm/rev}$$

$$a_p = 0.5 \text{ mm}$$

- Parámetros de corte para procesos de acabado: se toma como referencia el catálogo del fabricante “Walter Tiger Tec” para establecer los parámetros de corte siguiendo las fichas presentes en el anexo D, modificados por sugerencia del Instructor a cargo en el laboratorio de CNC del SENA Ricardo Pabón.

Referencia de plaquita: VNMG160404-MNS calidad WPP20

$$V_C = 110-200 \text{ m/min}$$

$$f_n = 0.08-0.16 \text{ mm/rev}$$

$$a_p = 0.5-1.5 \text{ mm}$$

Los parámetros anteriores fueron modificados de la siguiente manera.

$$V_C = 200 \text{ m/min}$$

$$f_n = 0.1 \text{ mm/min}$$

$$a_p = 0.1 \text{ mm}$$

- Parámetros de corte para procesos de tronzado: se toma como referencia el catálogo del fabricante “Sandvik” para establecer los parámetros de corte siguiendo las fichas presentes en el anexo G.

Referencia de la plaquita: N151.2-300-5E calidad 2135

$$V_C = 65-100 \text{ m/min}$$

$$f_n = 0.05-0.5 \text{ mm/rev}$$

Los parámetros de tronzado fueron definidos por los siguientes:

$$V_C = 840 \text{ RPM}$$

$$f_n = 0.1 \text{ mm/rev}$$

Figura 228. Vástago Terminado



Fuente: Los Autores

6.6.4. Tuerca

El material establecido para esta pieza es el acero AISI 4340, con las siguientes dimensiones:

- Diámetro exterior de 57.15 mm
- Largo 90 mm

6.6.4.1. Procesos de mecanizado

Para la selección de los parámetros de corte se aplica la metodología planteada para la manufactura del elemento Pistón-Tapa.

- Parámetros de corte para procesos de desbaste: como no se cuenta con el catálogo del fabricante, se tomó como guía los parámetros de corte de la tabla “AISI 1340, 1340H: Turning (Single Point and Box Tools)” presente en el anexo C, modificados de la siguiente manera.

$$V_C = 180 \text{ m/min}$$

$$f_n = 0.3 \text{ mm/rev}$$

$$a_p = 0.3 \text{ mm}$$

- Parámetros de corte para procesos de acabado: se toma como referencia el catálogo del fabricante "Walter Tiger Tec" para establecer los parámetros de corte siguiendo las fichas presentes en el anexo D, modificados por sugerencia del Instructor a cargo en el laboratorio de CNC del SENA Ricardo Pabón.

Referencia de plaquita: VNMG160404-MNS calidad WPP20

$$V_C = 160-180 \text{ m/min}$$

$$f_n = 0.08-0.16 \text{ mm/rev}$$

$$a_p = 0.5-1.5 \text{ mm}$$

Los parámetros fueron modificados de la siguiente manera

$$V_C = 200 \text{ m/min}$$

$$f_n = 0.1 \text{ mm/rev}$$

$$a_p = 0.1 \text{ mm}$$

- Parámetros de corte para procesos de taladrado: como no se cuenta con el catálogo del fabricante de la broca, se tomó como guía los parámetros de corte de la tabla "AISI 1340, 1340H: Drilling" presente en el anexo C. Con la dureza del acero AISI 4340 (217HB) y el material de la broca utilizada (acero rápido HSS), se busca en la tabla la velocidad de corte para un diámetro de la herramienta de:

$$V_C = 20 \text{ m/min}$$

$$f_n = 0.075 \text{ mm/rev}$$

$$\varnothing 3\text{mm} = 1200 \text{ RPM (Broca de centro \#3)}$$

$$f_n = 0.05 \text{ mm/rev}$$

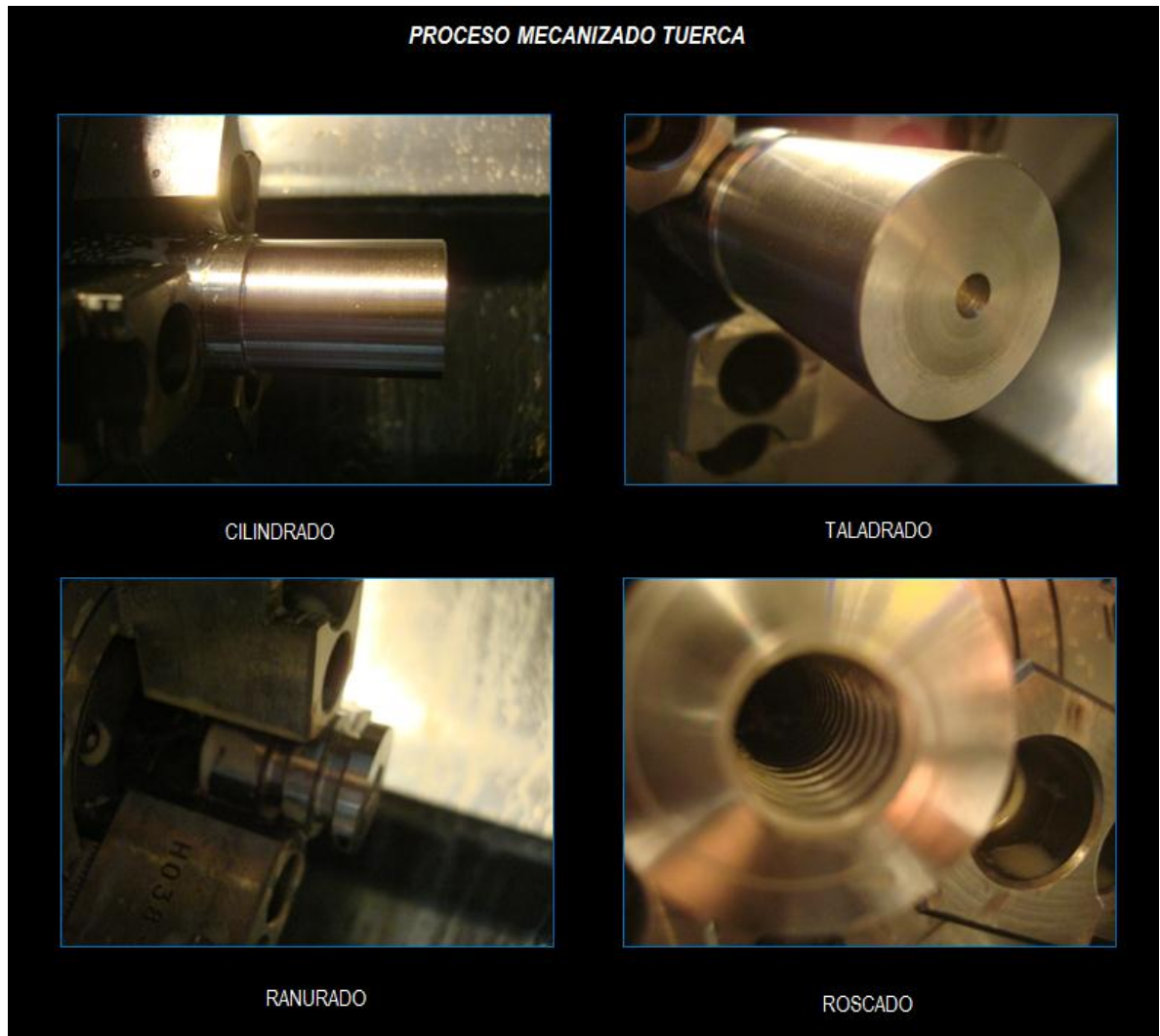
$$\varnothing 8\text{mm} = 795 \text{ RPM}$$

$$f_n = 0.11 \text{ mm/rev}$$

$$\varnothing 12\text{mm} = 530.5 \text{ RPM}$$

$$f_n = 0.15 \text{ mm/rev}$$

Figura 229. Proceso Mecanizado Tuerca



Fuente: Los Autores

- Parámetros de corte para procesos de ranurado: se toma como referencia el catálogo del fabricante “Kennametal” para establecer los parámetros de corte siguiendo las fichas presentes en el anexo F.

Referencia de la plaquita: A4C0405L10CR02 K5025 rompeviruta GMC

$V_C = 60-185 \text{ m/min}$

$f_n = 0.1-0.16 \text{ mm/rev}$

$a_p = 1.6-3 \text{ mm}$

Los parámetros de desbaste en el ranurado fueron definidos de la siguiente manera:

$$V_C = 840 \text{ RPM}$$

$$f_n = 0.1 \text{ mm/rev}$$

$$a_p = 0.1 \text{ mm}$$

Los parámetros de acabado en el ranurado fueron definidos de la siguiente manera:

$$V_C = 850 \text{ RPM}$$

$$f_n = 0.1 \text{ mm/rev}$$

$$a_p = 0.1 \text{ mm}$$

- Parámetros de corte para procesos de tronzado: se toma como referencia el catálogo del fabricante “Sandvik” para establecer los parámetros de corte siguiendo las fichas presentes en el anexo G.

Referencia de la plaquita: N151.2-300-5E calidad 2135

$$V_C = 110-140 \text{ m/min}$$

$$f_n = 0.05-0.5 \text{ mm/rev}$$

Los parámetros de tronzado fueron definidos por los siguientes:

$$V_C = 800 \text{ RPM}$$

$$f_n = 0.1 \text{ mm/rev}$$

- Parámetros de corte para procesos de desbaste y acabado en operaciones de alezado: se toma como referencia el catálogo del fabricante “Kennametal” para establecer los parámetros de corte siguiendo las fichas presentes en el anexo E.

Referencia de la plaquita: CCMT060204-LF K9110

$$V_C = 90-195 \text{ m/min}$$

$$f_n = 0.2-0.4 \text{ mm/rev}$$

$$a_p = 1.1-2.3 \text{ mm}$$

Los parámetros de desbaste fueron definidos de la siguiente manera:

$$V_C = 180 \text{ m/min}$$

$$f_n = 0.1 \text{ mm/rev}$$

$$a_p = 0.1 \text{ mm}$$

Los parámetros de acabado fueron definidos de la siguiente manera:

$$V_C = 195 \text{ m/min}$$

$$f_n = 0.1 \text{ mm/rev}$$

$$a_p = 0.1 \text{ mm}$$

- Parámetros de corte para procesos de roscado tipo ACME: se toma como referencia el catálogo del fabricante “Sandvik” para establecer los parámetros de corte siguiendo las fichas presentes en el anexo H.

Referencia de la plaquita: MB-07TH08AC-11R Calidad 1025

$$V_C = 60\text{-}200 \text{ m/min}$$

$$a_p = 1.9 \text{ mm}; n = 12; \text{ número de pasadas}$$

Los parámetros de corte definitivos son los siguientes:

$$V_C = 700 \text{ RPM}$$

$$f_n = 3.175 \text{ mm/rev}$$

$$a_p = 0.25 \text{ mm}; \text{ primera pasada, } n = 12; \text{ número total de pasadas}$$

Figura 230. Tuerca Terminada



Fuente: Los Autores

6.6.5. Tornillo de Potencia

El material establecido para esta pieza es el acero AISI 4140, con las siguientes dimensiones:

- Diámetro exterior de 38.1 mm
- Largo 240 mm

6.6.5.1. Procesos de mecanizado

Para la selección de los parámetros de corte se aplica la metodología planteada para la manufactura del elemento Pistón-Tapa.

En el caso del acero AISI 4140 la información del libro “Engineering Properties of Steels, de Philip. D HARVEY”, recomienda usar las tablas para procesos de mecanizado del acero AISI 1340.

- Parámetros de corte para procesos de desbaste: como no se cuenta con el catálogo del fabricante, se tomó como guía los parámetros de corte de la tabla “AISI 1340, 1340H: Turning (Single Point and Box Tools)” presente en el anexo C, modificados de la siguiente manera.

$$V_C = 180 \text{ m/min}$$

$$f_n = 0.3 \text{ mm/rev}$$

$$a_p = 0.3 \text{ mm}$$

- Parámetros de corte para procesos de acabado: se toma como referencia el catálogo del fabricante “Walter Tiger Tec” para establecer los parámetros de corte siguiendo las fichas presentes en el anexo D, modificados por sugerencia del Instructor a cargo en el laboratorio de CNC del SENA Ricardo Pabón.

Referencia de plaquita: VNMG160404-MNS calidad WPP20

$$V_C = 160-180 \text{ m/min}$$

$$f_n = 0.08-0.16 \text{ mm/rev}$$

$$a_p = 0.5-1.5 \text{ mm}$$

Los parámetros fueron modificados de la siguiente manera

$$V_C = 180 \text{ m/min}$$

$$f_n = 0.1 \text{ mm/rev}$$

$$a_p = 0.1 \text{ mm}$$

- Parámetros de corte para procesos de taladrado: como no se cuenta con el catálogo del fabricante de la broca, se tomó como guía los parámetros de corte de la tabla "AISI 1340, 1340H: Drilling" presente en el anexo C. Con la dureza del acero AISI 4140 (197HB) y el material de la broca utilizada (acero rápido HSS), se busca en la tabla la velocidad de corte para un diámetro de la herramienta de:

$$V_C = 20 \text{ m/min}$$

$$f_n = 0.075 \text{ mm/rev}$$

Se modificaron los parámetros como se muestra a continuación.

$$\varnothing 3\text{mm} = 1200 \text{ RPM (Broca de centro \#3)}$$

$$f_n = 0.05 \text{ mm/rev}$$

$$\varnothing 3.175\text{mm} = 1200 \text{ RPM}$$

- Parámetros de corte para procesos de ranurado: se toma como referencia el catálogo del fabricante "Kennametal" para establecer los parámetros de corte siguiendo las fichas presentes en el anexo F.

Referencia de la plaquita: A4C0405L10CR02 K5025 rompeviruta GMP

$$V_C = 60-185 \text{ m/min}$$

$$f_n = 0.1-0.16 \text{ mm/rev}$$

$$a_p = 1.6-3 \text{ mm}$$

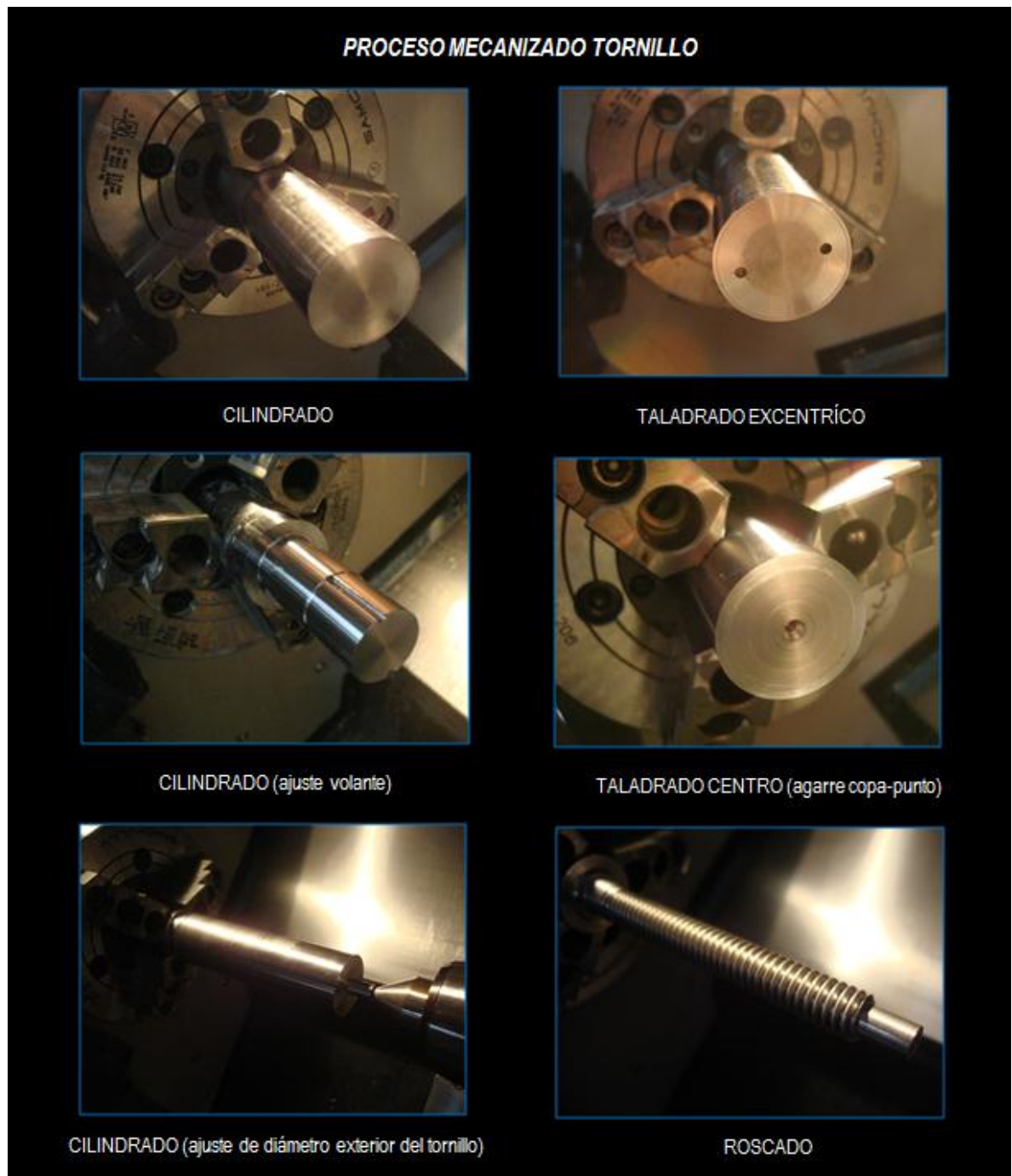
Los parámetros de desbaste en el ranurado fueron definidos de la siguiente manera:

$$V_C = 800 \text{ RPM}$$

$$f_n = 0.1 \text{ mm/rev}$$

$$a_p = 0.1 \text{ mm}$$

Figura 231. Proceso Mecanizado Tornillo



Fuente: Los Autores

Los parámetros de acabado en el ranurado fueron definidos de la siguiente manera:

$$V_C = 840 \text{ RPM}$$

$$f_n = 0.1 \text{ mm/rev}$$

$$a_p = 0.1 \text{ mm}$$

- Parámetros de corte para procesos de roscado tipo ACME: se toma como referencia el catálogo del fabricante “Sandvik” para establecer los parámetros de corte siguiendo las fichas presentes en el anexo J.

Referencia de la plaquita: 266RG-16AC01F080E Calidad 1135

$$V_C = 140 \text{ m/min}$$

$$a_p = 1.91 \text{ mm}; n = 12; \text{ número de pasadas}$$

Los parámetros de corte definitivos son los siguientes:

$$V_C = 900 \text{ RPM}$$

$$f_n = 3.175 \text{ mm/rev}$$

$$a_p = 0.2 \text{ mm}; \text{ primera pasada, } n = 12; \text{ número total de pasadas}$$

Figura 232. Tornillo de Potencia Terminado



Fuente: Los Autores

6.6.6. Camisa de Desgaste

El material establecido para esta pieza es el bronce latón, con las siguientes dimensiones:

- Diámetro exterior de 50.8 mm
- Largo 180 mm

6.6.6.1. Procesos de mecanizado

Al tratarse de un material frágil con una maquinabilidad muy diferente a los aceros, se propuso aumentar la velocidad de corte a un poco mas de la recomendada para procesos de acabado.

- Parámetros de corte para procesos de taladrado: como no se cuenta con el catálogo del fabricante de la broca, se tomó como guía los parámetros de corte siguiendo las fichas presentes en el anexo I.

Asumiendo el material como una aleación de cobre de viruta corta, se busca en la ficha correspondiente la velocidad de corte para un diámetro de la herramienta. La mayoría de operaciones fueron manuales, algunos parámetros fueron modificados.

$$V_C = 50 \text{ m/min}$$

$$\varnothing 3\text{mm} = 1300 \text{ RPM}$$

$$\varnothing 5\text{mm} = 1200 \text{ RPM}$$

$$f_n = 0.06 \text{ mm/rev}$$

$$\varnothing 8\text{mm} = 1200 \text{ RPM}$$

$$\varnothing 12\text{mm} = 1200 \text{ RPM}$$

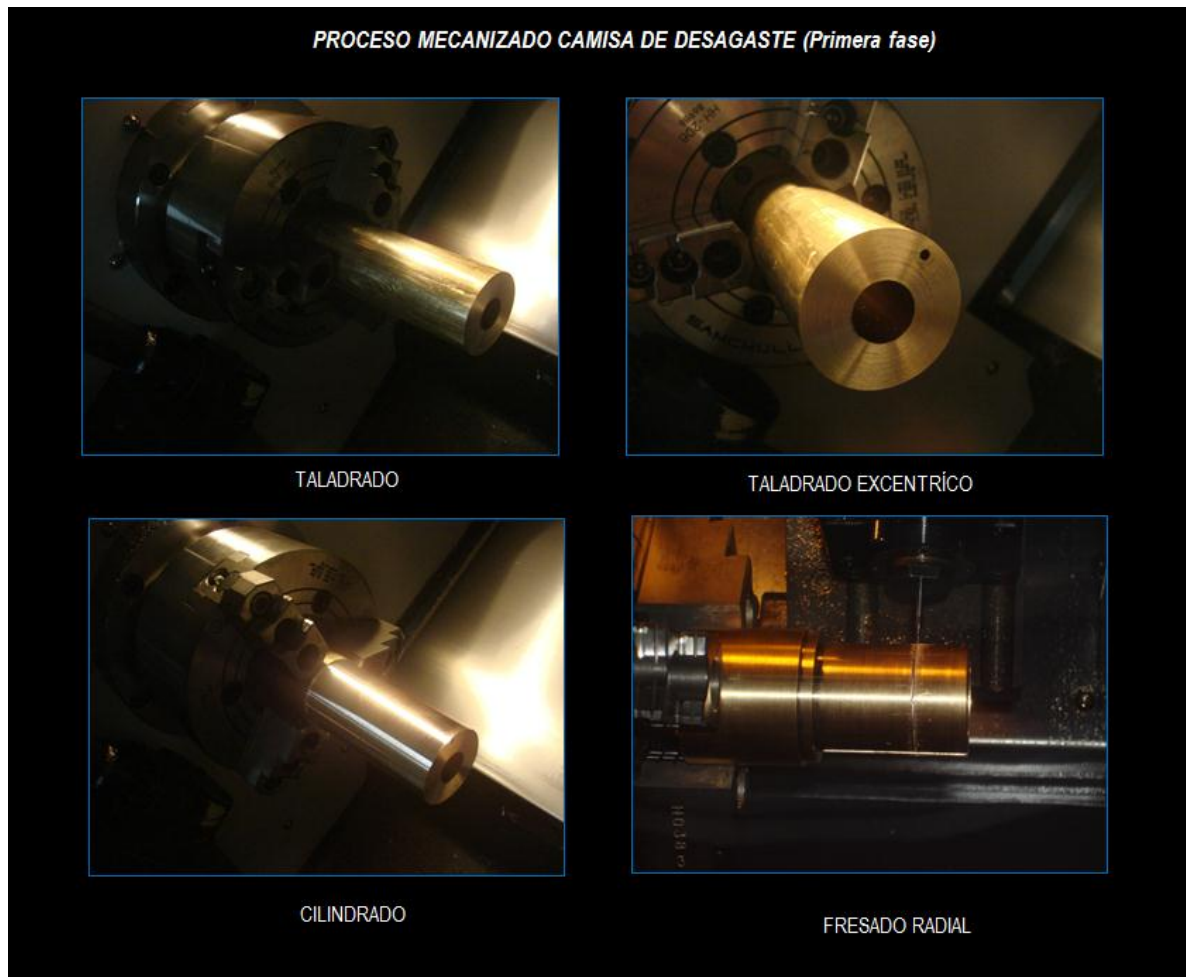
$$\varnothing 16\text{mm} = 994 \text{ RPM}$$

$$\varnothing 20\text{mm} = 795 \text{ RPM}$$

$$\varnothing 3.175\text{mm} = 1200 \text{ RPM}$$

$$f_n = 0.06 \text{ mm/rev}$$

Figura 233. Proceso Mecanizado Camisa de Desgaste (primera fase)



Fuente: Los Autores

- Parámetros de corte para procesos de desbaste: como no se cuenta con el catálogo del fabricante, se tomó como guía los parámetros establecidos para operaciones de acabado en aceros al carbono, modificados de la siguiente manera.

$$V_C = 200 \text{ m/min}$$

$$f_n = 0.3 \text{ mm/rev}$$

$$a_p = 0.2 \text{ mm}$$

- Parámetros de corte para procesos de acabado: se utilizó la plaquita disponible en el SENA para llevar a cabo el mecanizado de esta pieza, aunque su calidad no abarca este material el proceso planteado se realizó con éxito.

Referencia de plaquita: VNMG160404-MNS calidad WPP20

Los parámetros son los siguientes.

$$V_C = 280 \text{ m/min}$$

$$f_n = 0.1 \text{ mm/rev}$$

$$a_p = 0.1 \text{ mm}$$

- Parámetros de corte para procesos de fresado con el eje "C": como no se cuenta con el catálogo del fabricante del escariador, se establecieron parámetros de corte en conjunto con el Instructor a cargo Ricardo Pabón.

$$V_C = 2600 \text{ RPM}$$

$$f_n = 50 \text{ mm/min}$$

$$a_p = 0.1 \text{ mm}$$

- Parámetros de corte para procesos de desbaste y acabado en operaciones de alesado: no se cuenta con el catálogo del fabricante de las plaquitas para corte, sin embargo se establecieron los parámetros de la siguiente manera.

Referencia de la plaquita: CCMT060204

Los parámetros de desbaste fueron definidos a continuación:

$$V_C = 90 \text{ m/min}$$

$$f_n = 0.3 \text{ mm/rev}$$

$$a_p = 0.2 \text{ mm}$$

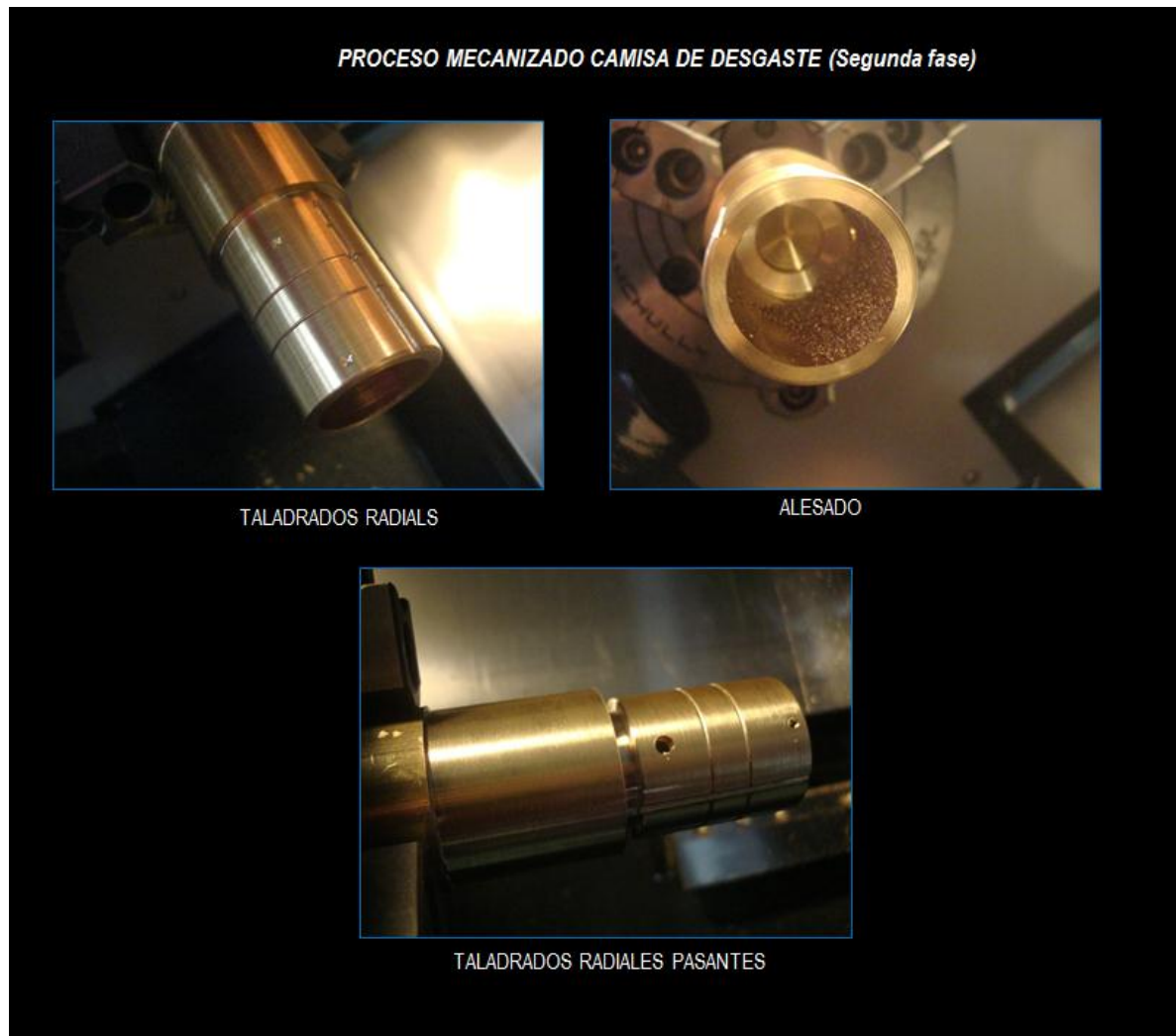
Los parámetros de acabado fueron definidos de la siguiente manera:

$$V_C = 90 \text{ m/min}$$

$$f_n = 0.1 \text{ mm/rev}$$

$$a_p = 0.2 \text{ mm}$$

Figura 234. Proceso Mecanizado Camisa de Desgaste (segunda fase)



Fuente: Los Autores

- Parámetros de corte para procesos de ranurado: la plaquita del fabricante “Kennametal” esta disponible para este propósito, sin embargo su calidad no se recomienda para este tipo de material, no queriendo decir que no se pueda utilizar.

Referencia de la plaquita: A4C0405L10CR02 K5025 rompeviruta GMC

Los parámetros de desbaste en el ranurado fueron definidos de la siguiente manera:

$$V_C = 90 \text{ mm/min}$$

$$f_n = 0.1 \text{ mm/rev}$$

$$a_p = 0.1 \text{ mm}$$

Los parámetros de acabado en el ranurado fueron definidos de la siguiente manera:

$$V_C = 95 \text{ mm/min}$$

$$f_n = 0.1 \text{ mm/rev}$$

$$a_p = 0.1 \text{ mm}$$

Figura 235. Camisa de Desgaste Terminado



Fuente: Los Autores

6.6.7. Separador Camisas

El material establecido para esta pieza es el acero AISI 304, con las siguientes dimensiones:

- Diámetro exterior de 63.51 mm
- Largo 60 mm

6.6.7.1. Procesos de mecanizado

En el caso del acero AISI 304 la información del libro “Engineering Properties of Steels, de Philip. D HARVEY”, recomienda usar las tablas para procesos de mecanizado del acero AISI 201.

- Parámetros de corte para procesos de taladrado: como no se cuenta con el catálogo del fabricante de la broca, se tomó como guía los parámetros de corte de la tabla “AISI Type 201: Drilling” presentes en el anexo C. Con la dureza del acero AISI 304 (123HB) y el material de la broca utilizada (acero rápido HSS), se busca en la tabla la velocidad de corte para un diámetro de la herramienta.

$$V_C = 18 \text{ m/min}$$

$$\varnothing 3\text{mm} = 1900 \text{ RPM}$$

$$\varnothing 6\text{mm} = 955 \text{ RPM}$$

$$\varnothing 12\text{mm} = 477.5 \text{ RPM}$$

$$\varnothing 16\text{mm} = 358 \text{ RPM}$$

$$\varnothing 20\text{mm} = 286 \text{ RPM}$$

Los procesos fueron ejecutados manualmente.

- Parámetros de corte para procesos de desbaste: como no se cuenta con el catálogo del fabricante se tomó como guía los parámetros de corte en la tabla “AISI Type 201: Turning (Single Point and Box Tools)” presentes en el anexo C, modificados como se muestra a continuación.

$$V_C = 160 \text{ m/min}$$

$$f_n = 0.2 \text{ mm/rev}$$

$$a_p = 0.3 \text{ mm}$$

- Parámetros de corte para procesos de acabado: se toma como referencia el catálogo del fabricante “Walter Tiger Tec” para establecer los parámetros de corte siguiendo las fichas presentes en el anexo D, modificados de la siguiente manera.

Referencia de plaquita: VNMG160404-MNS calidad WPP20

$$V_C = 110\text{-}200 \text{ m/min}$$

$$f_n = 0.08\text{-}0.16 \text{ mm/rev}$$

$$a_p = 0.5\text{-}1.5 \text{ mm}$$

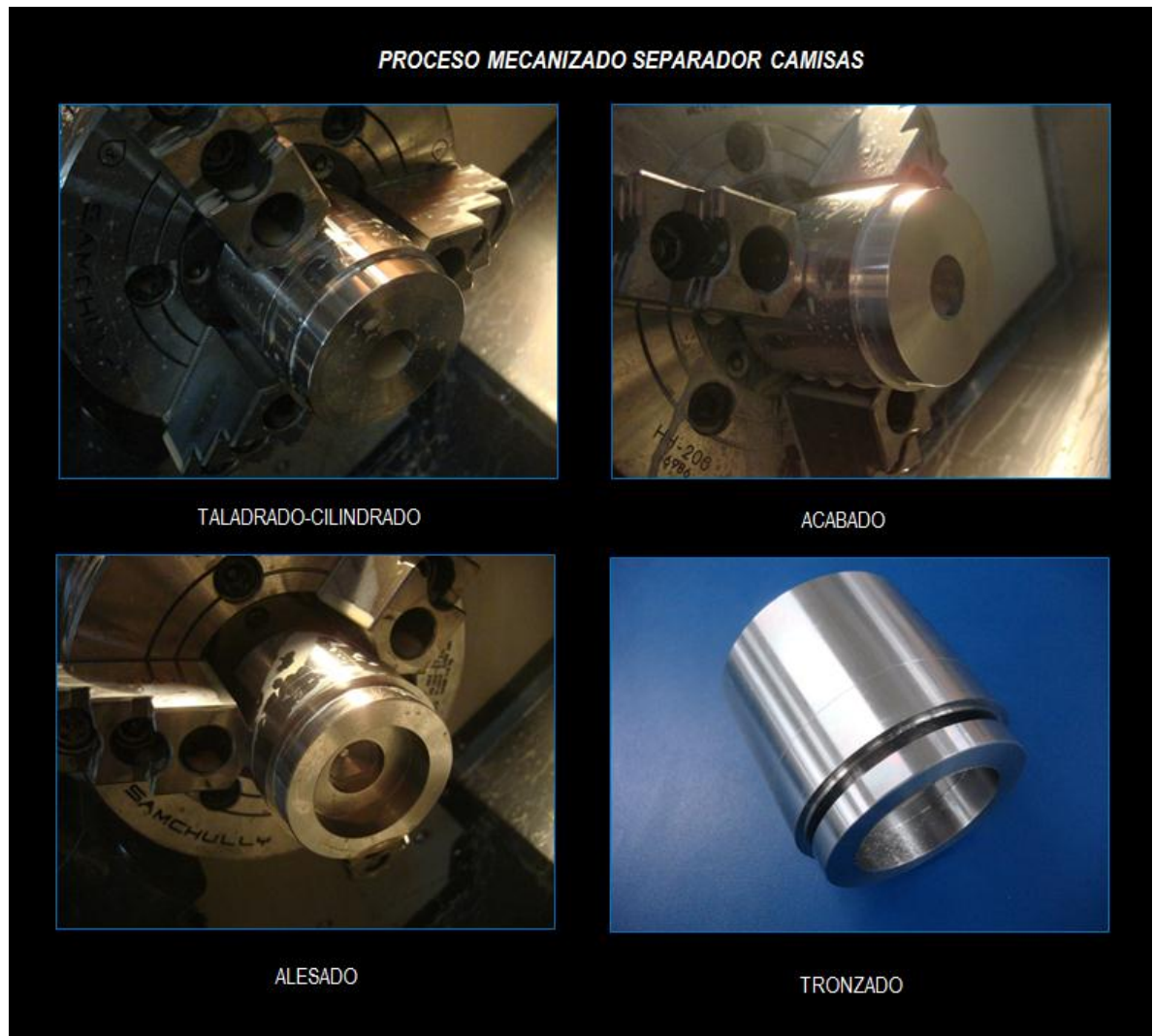
Los parámetros anteriores fueron modificados de la siguiente manera.

$$V_C = 190 \text{ m/min}$$

$f_n = 0.1 \text{ mm/min}$

$a_p = 0.1 \text{ mm}$

Figura 236. Proceso Mecanizado Separador Camisas



Fuente: Los Autores

- Parámetros de corte para procesos de desbaste y acabado en operaciones de alesado: se toma los parámetros de corte de la tabla “AISI Type 201: Turning (Single Point and Box Tools)” presentes en el anexo C. Los cuales deben ser adaptados.

Referencia de la plaquita: CCMT060204

Los parámetros de desbaste fueron definidos de la siguiente manera:

$$V_C = 160 \text{ m/min}$$

$$f_n = 0.3 \text{ mm/rev}$$

$$a_p = 0.3 \text{ mm}$$

Los parámetros de acabado fueron definidos de la siguiente manera:

$$V_C = 190 \text{ m/min}$$

$$f_n = 0.1 \text{ mm/rev}$$

$$a_p = 0.1 \text{ mm}$$

Figura 237. Separador Camisas Terminado



Fuente: Los Autores

- Parámetros de corte para procesos de tronchado: se toma como referencia el catálogo del fabricante “Sandvik” para establecer los parámetros de corte siguiendo las fichas presentes en el anexo G.

Referencia de la plaquita: N151.2-300-5E calidad 2135

$$V_C = 65-100 \text{ m/min}$$

$$f_n = 0.05-0.5 \text{ mm/rev}$$

Los parámetros de tronzado fueron definidos por los siguientes:

$$V_C = 546 \text{ RPM}$$

$$f_n = 0.08 \text{ mm/rev}$$

6.6.8. Separador Rodamiento – Tuerca

El material establecido para esta pieza es el acero AISI 304, con las siguientes dimensiones:

- Diámetro exterior de 50.8 mm
- Largo 60 mm

6.6.8.1. Procesos de mecanizado

- Parámetros de corte para procesos de taladrado: como no se cuenta con el catálogo del fabricante de la broca, se tomó como guía los parámetros de corte de la tabla “AISI Type 201: Drilling” presentes en el anexo C. Con la dureza del acero AISI 304 (123HB) y el material de la broca utilizada (acero rápido HSS), se busca en la tabla la velocidad de corte para un diámetro de la herramienta.

$$V_C = 18 \text{ m/min}$$

$$\varnothing 3\text{mm} = 1900 \text{ RPM}$$

$$\varnothing 6\text{mm} = 955 \text{ RPM}$$

$$\varnothing 12\text{mm} = 477.5 \text{ RPM}$$

$$\varnothing 16\text{mm} = 358 \text{ RPM}$$

$$\varnothing 20\text{mm} = 286 \text{ RPM}$$

Los procesos fueron ejecutados manualmente.

- Parámetros de corte para procesos de desbaste: como no se cuenta con el catálogo del fabricante, se tomó como guía los parámetros de corte de la tabla “AISI Type 201: Turning (Single Point and Box Tools)” presente en el anexo C, modificados como se muestra a continuación.

$$V_C = 160 \text{ m/min}$$

$$f_n = 0.3 \text{ mm/rev}$$

$$a_p = 0.5 \text{ mm}$$

- Parámetros de corte para procesos de acabado: se toma como referencia el catálogo del fabricante “Walter Tiger Tec” para establecer los parámetros de corte siguiendo las fichas presentes en el anexo D.

Referencia de plaquita: VNMG160404-MNS calidad WPP20

$$V_C = 110\text{-}200 \text{ m/min}$$

$$f_n = 0.08\text{-}0.16 \text{ mm/rev}$$

$$a_p = 0.5\text{-}1.5 \text{ mm}$$

Los parámetros anteriores fueron modificados de la siguiente manera.

$$V_C = 190 \text{ m/min}$$

$$f_n = 0.1 \text{ mm/min}$$

$$a_p = 0.1 \text{ mm}$$

- Parámetros de corte para procesos de desbaste y acabado en operaciones de alesado: se toman los parámetros de corte de la tabla “AISI Type 201: Turning (Single Point and Box Tools)”, presentes en el anexo C. Que sin embargo deben ser adaptados.

Referencia de la plaquita: CCMT060204

Los parámetros de desbaste fueron definidos de la siguiente manera:

$$V_C = 160 \text{ m/min}$$

$$f_n = 0.3 \text{ mm/rev}$$

$$a_p = 0.3 \text{ mm}$$

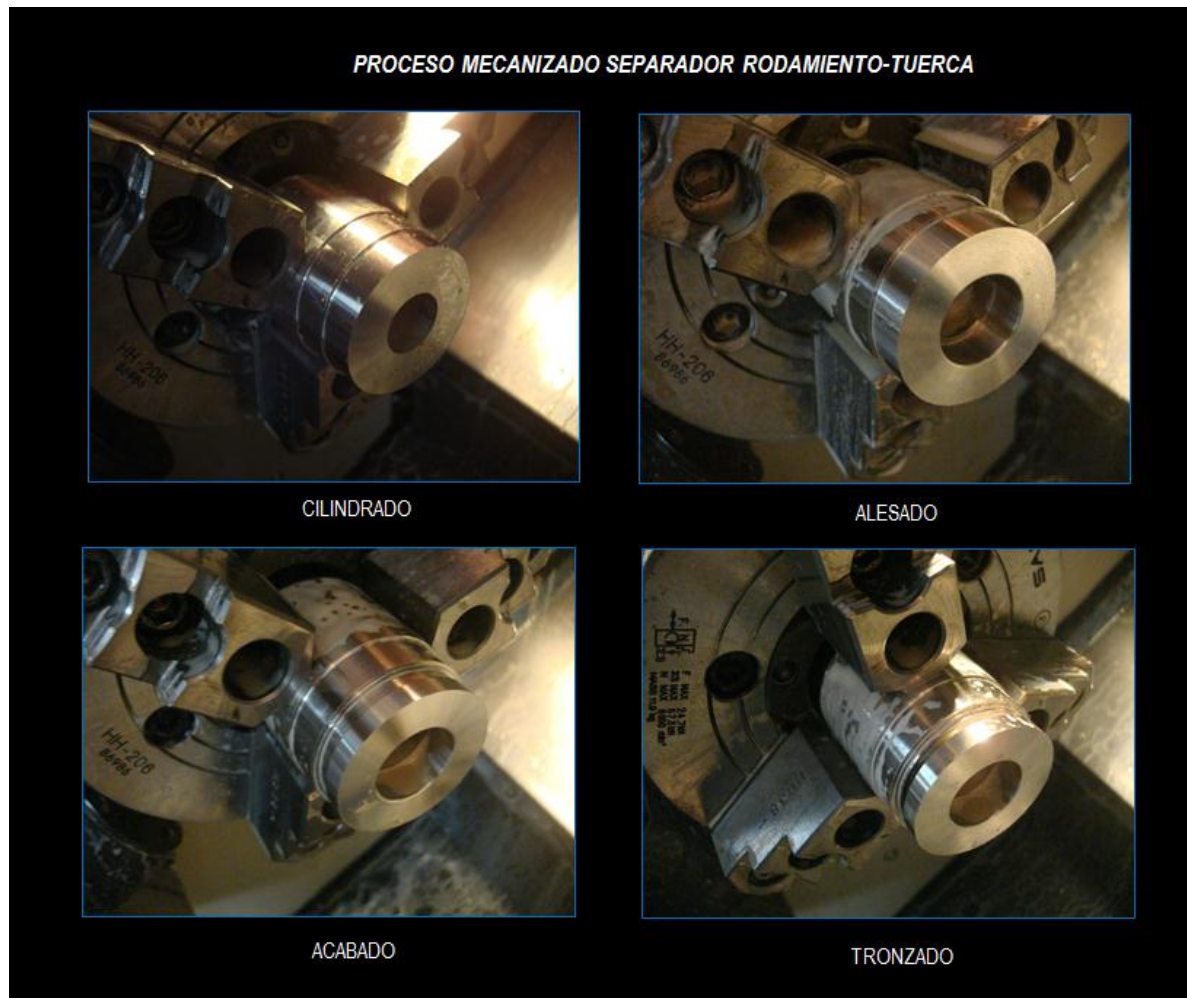
Los parámetros de acabado fueron definidos de la siguiente manera:

$$V_C = 190 \text{ m/min}$$

$$f_n = 0.1 \text{ mm/rev}$$

$$a_p = 0.1 \text{ mm}$$

Figura 238. Proceso Mecanizado Separador Rodamiento-Tuerca



Fuente: Los Autores

- Parámetros de corte para procesos de ranurado: se toma como referencia el catálogo del fabricante “Kennametal” para establecer los parámetros de corte siguiendo las fichas presentes en el anexo F.

Referencia de la plaquita: A4C0405L10CR02 K5025 rompeviruta GMC

$V_c = 65-185 \text{ m/min}$

$f_n = 0.1-0.16 \text{ mm/rev}$

$a_p = 1.6-3 \text{ mm}$

Los parámetros de desbaste en el ranurado fueron definidos de la siguiente manera:

$$V_C = 569 \text{ RPM}$$

$$f_n = 0.1 \text{ mm/rev}$$

$$a_p = 0.2 \text{ mm}$$

Los parámetros de acabado en el ranurado fueron definidos de la siguiente manera:

$$V_C = 569 \text{ RPM}$$

$$f_n = 0.1 \text{ mm/rev}$$

$$a_p = 0.1 \text{ mm}$$

Figura 239. Separador Rodamiento-Tuerca Terminado



Fuente: Los Autores

- Parámetros de corte para procesos de tronzado: se toma como referencia el catálogo del fabricante “Sandvik” para establecer los parámetros de corte siguiendo las fichas presentes en el anexo G.

Referencia de la plaquita: N151.2-300-5E calidad 2135

$$V_C = 65-100 \text{ m/min}$$

$$f_n = 0.05-0.5 \text{ mm/rev}$$

Los parámetros de tronzado fueron definidos por los siguientes:

$$V_C = 569 \text{ RPM}$$

$$f_n = 0.1 \text{ mm/rev}$$

6.6.9. Volante

El material establecido para esta pieza es el acero AISI 304, con las siguientes dimensiones:

- Diámetro exterior de 114.3 mm
- Largo 70 mm

6.6.9.1. Procesos de mecanizado

- Parámetros de corte para procesos de taladrado: como no se cuenta con el catálogo del fabricante de la broca, se tomó como guía los parámetros de corte de la tabla “AISI Type 201: Drilling” presentes en el anexo C. Con la dureza del acero AISI 304 (123HB) y el material de la broca utilizada (acero rápido HSS), se busca en la tabla la velocidad de corte para un diámetro de la herramienta.

$$V_C = 18 \text{ m/min}$$

$$\varnothing 2.5\text{mm} = 1200 \text{ RPM}$$

$$f_n = 0.05 \text{ mm/rev}$$

$$\varnothing 3.175\text{mm} = 1900 \text{ RPM}$$

$$f_n = 0.05 \text{ mm/rev}$$

$$\varnothing 6\text{mm} = 955 \text{ RPM}$$

$$f_n = 0.063 \text{ mm/rev}$$

$$\varnothing 8\text{mm} = 716 \text{ RPM}$$

$$f_n = 0.13 \text{ mm/rev}$$

$$\varnothing 10\text{mm} = 572 \text{ RPM}$$

$$f_n = 0.21 \text{ mm/rev}$$

$$\varnothing 12\text{mm} = 477 \text{ RPM}$$

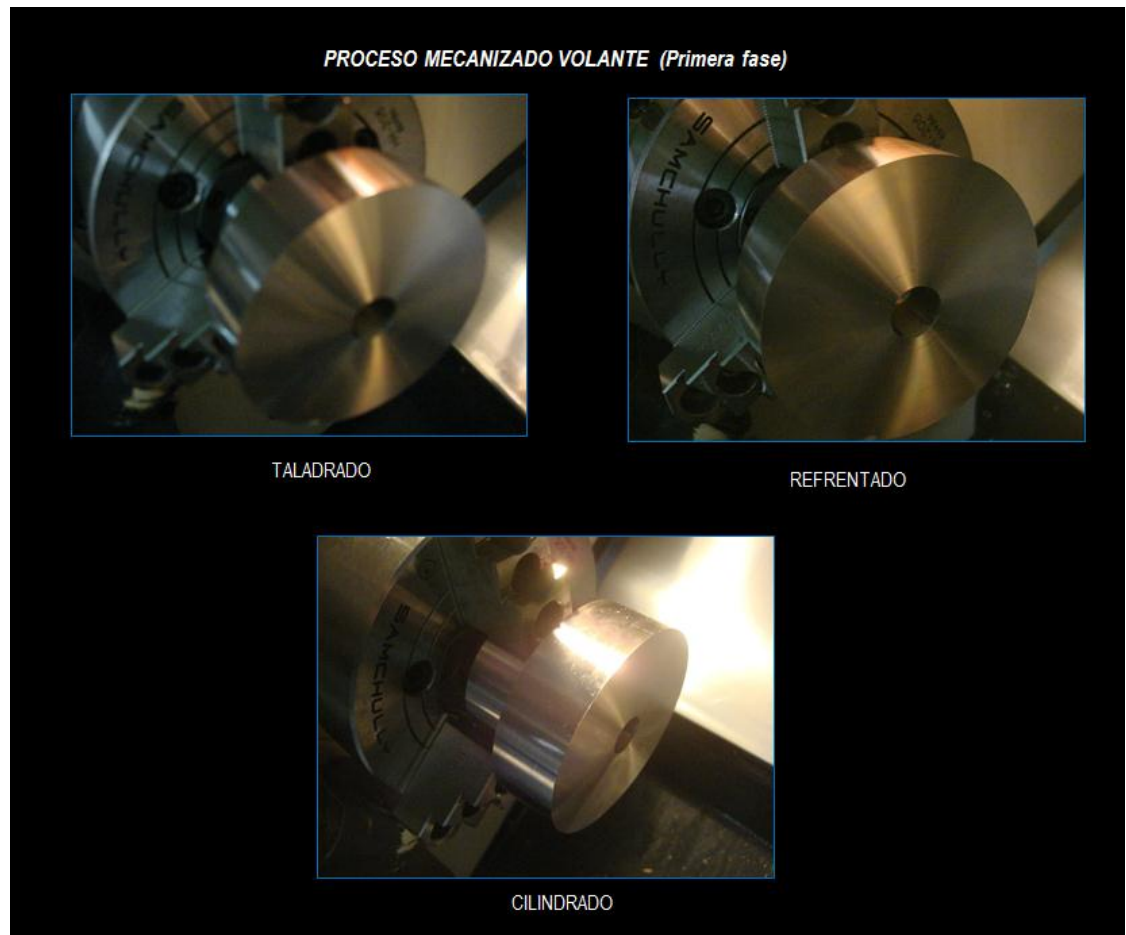
$$f_n = 0.25 \text{ mm/rev}$$

$$\varnothing 16\text{mm} = 358 \text{ RPM}$$

$\varnothing 20\text{mm} = 286 \text{ RPM}$

Los procesos para el taladrado interior fueron ejecutados manualmente.

Figura 240. Proceso Mecanizado Volante (primera fase)



Fuente: Los Autores

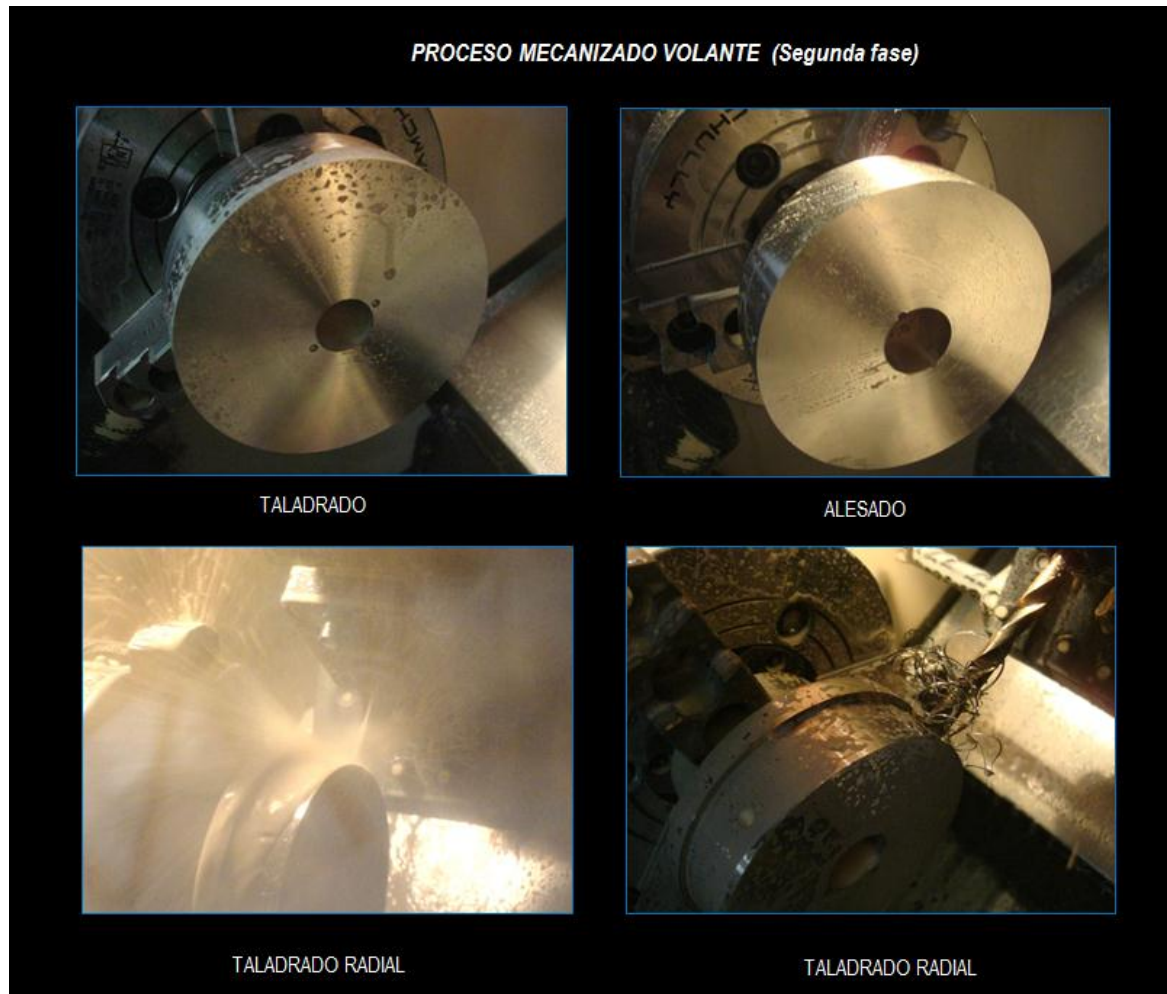
- Parámetros de corte para procesos de desbaste: como no se cuenta con el catálogo del fabricante, se tomó como guía los parámetros de corte de la tabla “AISI Type 201: Turning (Single Point and Box Tools)” presentes en el anexo C, modificados como se muestra a continuación.

$$V_C = 160 \text{ m/min}$$

$$f_n = 0.3 \text{ mm/rev}$$

$$a_p = 0.5 \text{ mm}$$

Figura 241. Proceso Mecanizado Volante (segunda fase)



Fuente: Los Autores

- Parámetros de corte para procesos de acabado: se toma como referencia el catálogo del fabricante “Walter Tiger Tec” para establecer los parámetros de corte siguiendo las fichas presentes en el anexo D.

Referencia de plaquita: VNMG160404-MNS calidad WPP20

$V_C = 110-200 \text{ m/min}$

$f_n = 0.08-0.16 \text{ mm/rev}$

$a_p = 0.5-1.5 \text{ mm}$

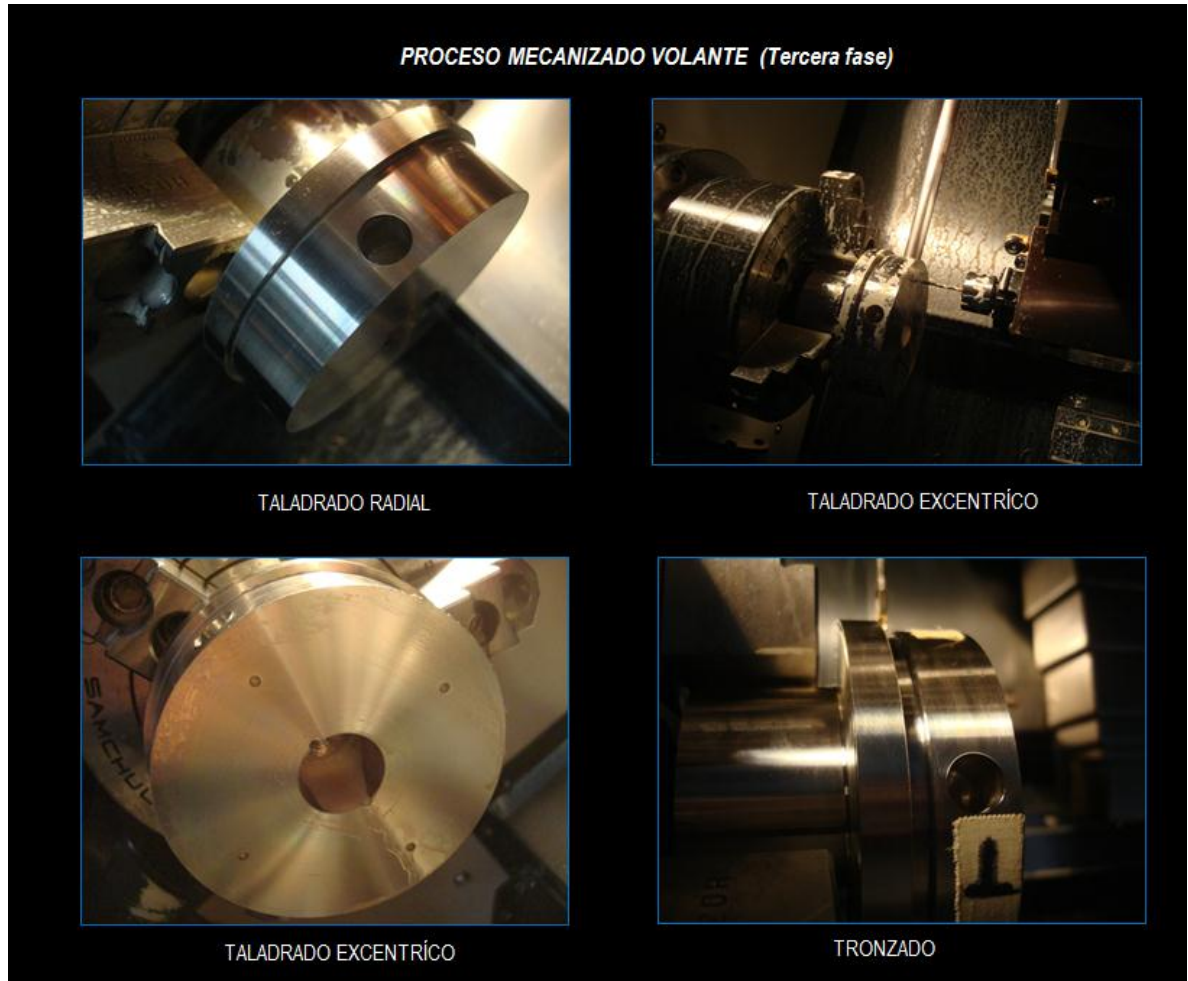
Los parámetros anteriores fueron modificados de la siguiente manera.

$V_C = 190 \text{ m/min}$

$$f_n = 0.1 \text{ mm/min}$$

$$a_p = 0.1 \text{ mm}$$

Figura 242. Proceso Mecanizado Volante (tercera fase)



Fuente: Los Autores

- Parámetros de corte para procesos de desbaste y acabado en operaciones de alesado: se tomó como guía los parámetros de corte de la tabla “AISI Type 201: Turning (Single Point and Box Tools)”, presentes en el anexo C, Que sin embargo deben ser adaptados.

Referencia de la plaquita: CCMT060204

Los parámetros de desbaste fueron definidos de la siguiente manera:

$$V_C = 160 \text{ m/min}$$

$$f_n = 0.3 \text{ mm/rev}$$

$$a_p = 0.1 \text{ mm}$$

Los parámetros de acabado fueron definidos de la siguiente manera:

$$V_C = 190 \text{ m/min}$$

$$f_n = 0.1 \text{ mm/rev}$$

$$a_p = 0.1 \text{ mm}$$

- Parámetros de corte para procesos de ranurado: se toma como referencia el catálogo del fabricante “Kennametal” para establecer los parámetros de corte siguiendo las fichas presentes en el anexo F.

Referencia de la plaquita: A4C0405L10CR02 K5025 rompeviruta GMC

$$V_C = 65-185 \text{ m/min}$$

$$f_n = 0.1-0.16 \text{ mm/rev}$$

$$a_p = 1.6-3 \text{ mm}$$

Los parámetros de desbaste en el ranurado fueron definidos de la siguiente manera:

$$V_C = 278 \text{ RPM}$$

$$f_n = 0.1 \text{ mm/rev}$$

$$a_p = 0.1 \text{ mm}$$

Los parámetros de acabado en el ranurado fueron definidos de la siguiente manera:

$$V_C = 278 \text{ RPM}$$

$$f_n = 0.1 \text{ mm/rev}$$

$$a_p = 0.1 \text{ mm}$$

- Parámetros de corte para procesos de tronzado: se toma como referencia el catálogo del fabricante “Sandvik” para establecer los parámetros de corte siguiendo las fichas presentes en el anexo G.

Referencia de la plaquita: N151.2-300-5E calidad 2135

$$V_C = 65-100 \text{ m/min}$$

$$f_n = 0.05-0.5 \text{ mm/rev}$$

Los parámetros de tronzado fueron definidos por los siguientes:

$$V_C = 84 \text{ m/min}$$

$$f_n = 0.1 \text{ mm/rev}$$

Figura 243. Volante Terminado



Fuente: Los Autores

6.6.10. Cámara de Bombeo

El material establecido para esta pieza es el acero AISI 304, con las siguientes dimensiones:

- Diámetro exterior de 63.5 mm
- Largo 255 mm

6.6.10.1. Procesos de mecanizado

- Parámetros de corte para procesos de taladrado: como no se cuenta con el catálogo del fabricante de la broca, se tomó como guía los parámetros de corte de

la tabla “AISI Type 201: Drilling” presentes en el anexo C. Con la dureza del acero AISI 304 (123HB) y el material de la broca utilizada (acero rápido HSS), se busca en la tabla la velocidad de corte para un diámetro de la herramienta.

$$V_C = 18 \text{ m/min}$$

$$\varnothing 3.175\text{mm} = 1900 \text{ RPM}$$

$$f_n = 48 \text{ mm/min}$$

$$\varnothing 3/32\text{mm} = 1200 \text{ RPM}$$

$$f_n = 0.063 \text{ mm/rev}$$

$$\varnothing 6\text{mm} = 955 \text{ RPM}$$

$$f_n = 0.063 \text{ mm/rev}$$

$$\varnothing 8.5\text{mm} = 716 \text{ RPM}$$

$$f_n = 0.13 \text{ mm/rev}$$

$$\varnothing 10\text{mm} = 572 \text{ RPM}$$

$$f_n = 0.21 \text{ mm/rev}$$

$$\varnothing 12\text{mm} = 477 \text{ RPM}$$

$$f_n = 0.25 \text{ mm/rev}$$

$$\varnothing 16\text{mm} = 358 \text{ RPM}$$

$$\varnothing 20\text{mm} = 286 \text{ RPM}$$

Los procesos para el taladrado interior fueron ejecutados manualmente.

- Parámetros de corte para procesos de desbaste: como no se cuenta con el catálogo del fabricante se tomó como guía los parámetros de corte de la tabla “AISI Type 201: Turning (Single Point and Box Tool)”, presentes en el anexo C, modificados como se muestra a continuación.

$$V_C = 160 \text{ m/min}$$

$$f_n = 0.3 \text{ mm/rev}$$

$$a_p = 0.5 \text{ mm}$$

Figura 244. Proceso Mecanizado Cámara de Bombeo (primera fase)



Fuente: Los Autores

- Parámetros de corte para procesos de acabado: se toma como referencia el catálogo del fabricante “Walter Tiger Tec” para establecer los parámetros de corte siguiendo las fichas presentes en el anexo D, modificados para mecanizar este tipo de acero.

Referencia de plaquita: VNMG160404-MNS calidad WPP20

$V_c = 110-200 \text{ m/min}$

$f_n = 0.08-0.16 \text{ mm/rev}$

$$a_p = 0.5-1.5 \text{ mm}$$

Los parámetros anteriores fueron modificados de la siguiente manera.

$$V_C = 190 \text{ m/min}$$

$$f_n = 0.1 \text{ mm/min}$$

$$a_p = 0.1 \text{ mm}$$

- Parámetros de corte para procesos de roscado métrico: se toma como referencia el catálogo del fabricante “Sandvik” para establecer los parámetros de corte siguiendo las fichas presentes en el anexo K.

Referencia de la plaquita: 266RG-16VM01A002M Calidad 1135

$$V_C = 130 \text{ m/min}$$

$$a_p = 1.26 \text{ mm}; n = 8; \text{ número de pasadas}$$

Los parámetros de corte definitivos son los siguientes:

$$V_C = 806 \text{ RPM}$$

$$f_n = 2 \text{ mm/rev}$$

$$a_p = 0.2 \text{ mm}; \text{ primera pasada, } n = 8; \text{ número total de pasadas}$$

- Parámetros de corte para procesos de desbaste y acabado en operaciones de alezado con la barra A08J-SCLCL06: se toma como referencia el catálogo del fabricante “Kennametal” para establecer los parámetros de corte siguiendo las fichas presentes en el anexo E. Que sin embargo deben ser adaptados pues la calidad de la plaquita no es apropiada para mecanizar aceros inoxidable.

Referencia de la plaquita: CCMT060204-LF K9110 para material M1 (304)

Los parámetros de desbaste fueron definidos de la siguiente manera:

$$V_C = 160 \text{ m/min}$$

$$f_n = 0.2 \text{ mm/rev}$$

$$a_p = 0.3 \text{ mm}$$

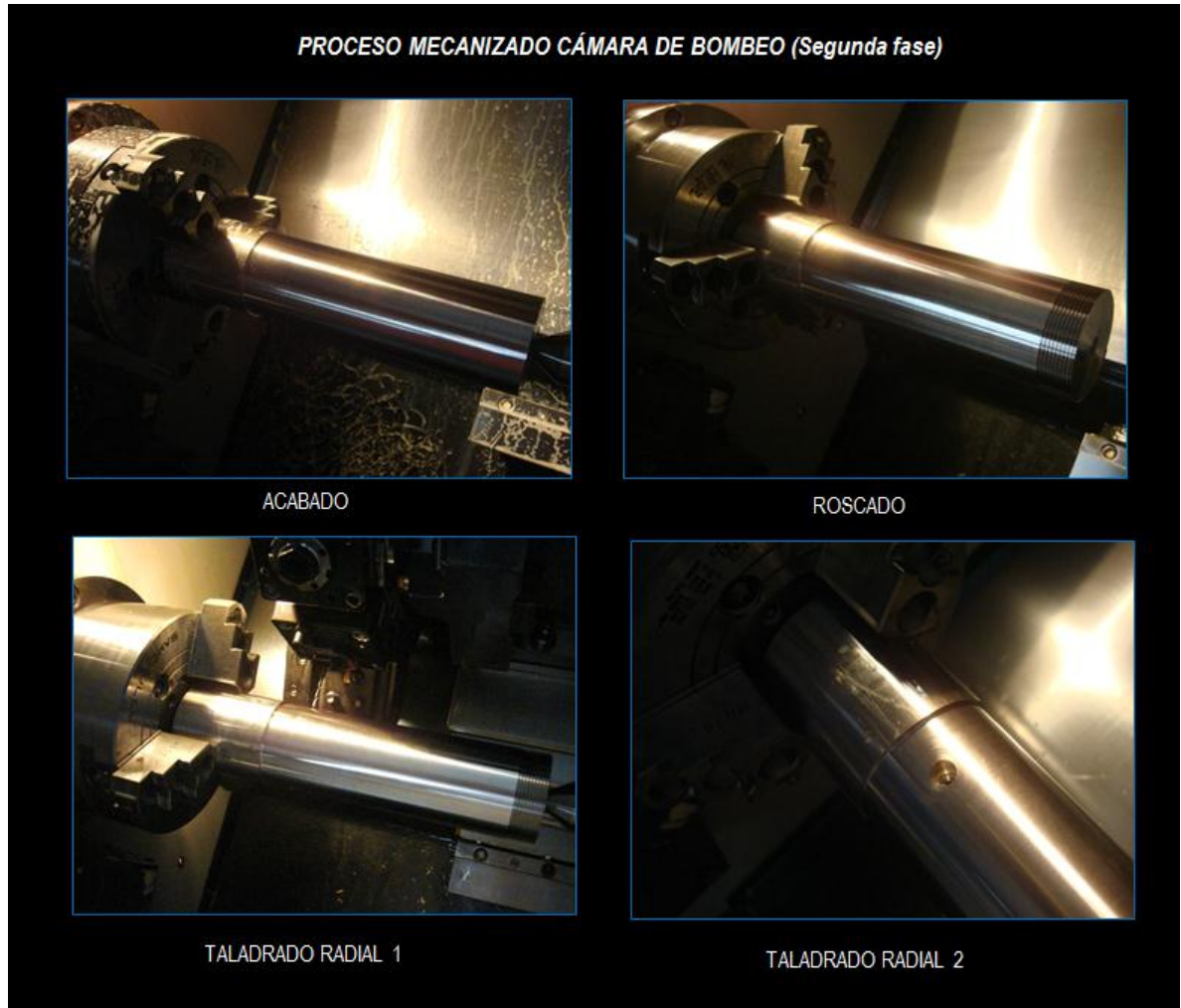
Los parámetros de acabado fueron definidos de la siguiente manera:

$$V_C = 190 \text{ m/min}$$

$$f_n = 0.1 \text{ mm/rev}$$

$$a_p = 0.1 \text{ mm}$$

Figura 245. Proceso Mecanizado Cámara de Bombeo (segunda fase)



Fuente: Los Autores

- Parámetros de corte para procesos de desbaste en operaciones de alezado con la herramienta A16R-SCLCLC09: se toma los parámetros de corte de la tabla “AISI Type 201: Turning (Single Point and Box Tools)” presentes el anexo C. Que sin embargo deben ser adaptados.

Referencia de la plaquita: CCMT060204

Los parámetros de desbaste fueron definidos de la siguiente manera:

$$V_C = 160 \text{ m/min}$$

$$f_n = 0.3 \text{ mm/rev}$$

$$a_p = 0.2 \text{ mm}$$

- Parámetros de corte para procesos de acabado en operaciones de alezado con la herramienta A20Q SDUCR 07: se toma los parámetros de corte de la tabla “AISI Type 201: Turning (Single Point and Box Tools)” presentes el anexo C. Que sin embargo deben ser adaptados..

Referencia de la plaquita: CCMT060204

Los parámetros de desbaste fueron definidos de la siguiente manera:

$$V_C = 190 \text{ m/min}$$

$$f_n = 0.1 \text{ mm/rev}$$

$$a_p = 0.1 \text{ mm}$$

- Parámetros de corte para procesos de tronzado: se toma como referencia el catálogo del fabricante “Sandvik” para establecer los parámetros de corte siguiendo las fichas presentes en el anexo G.

Referencia de la plaquita: N151.2-300-5E calidad 2135

$$V_C = 65-100 \text{ m/min}$$

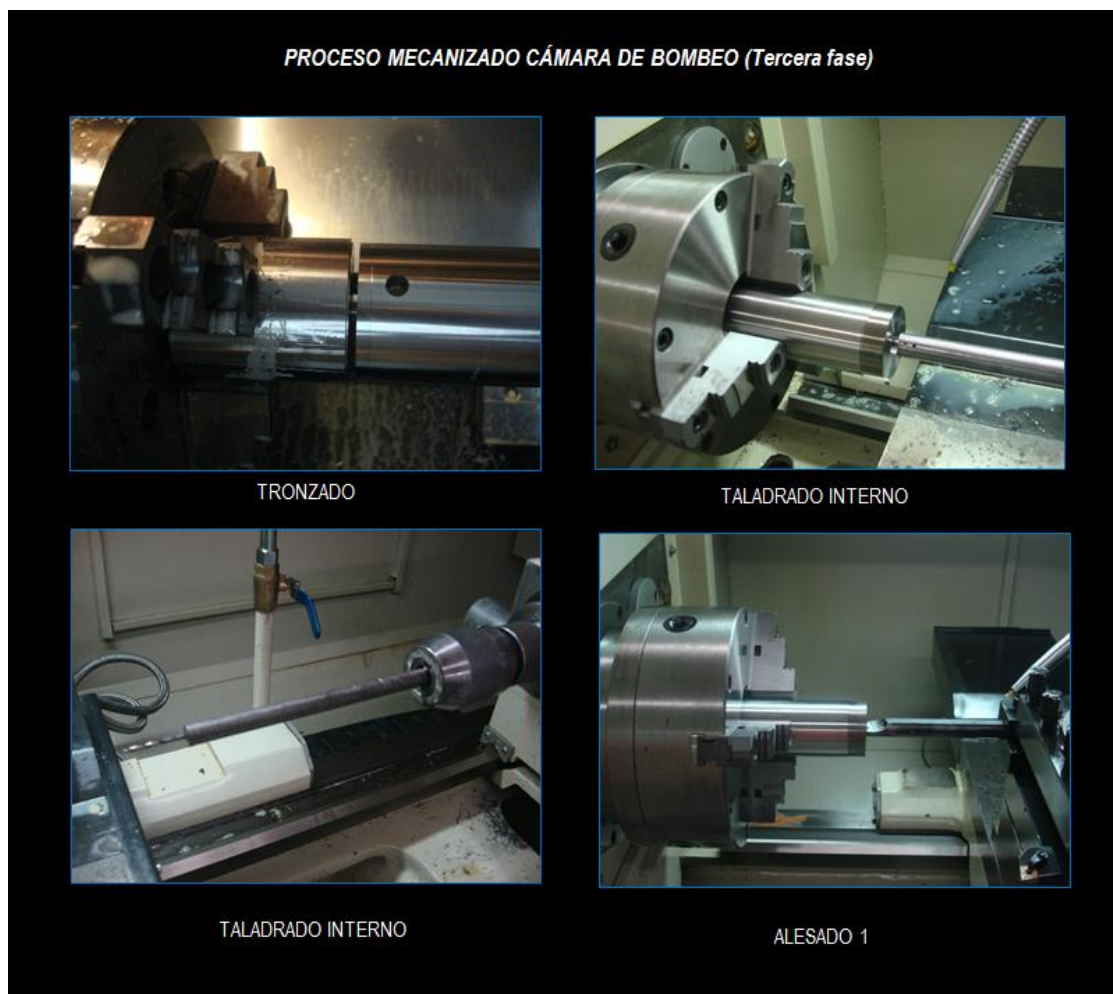
$$f_n = 0.05-0.5 \text{ mm/rev}$$

Los parámetros de tronzado fueron definidos por los siguientes:

$$V_C = 84 \text{ m/min}$$

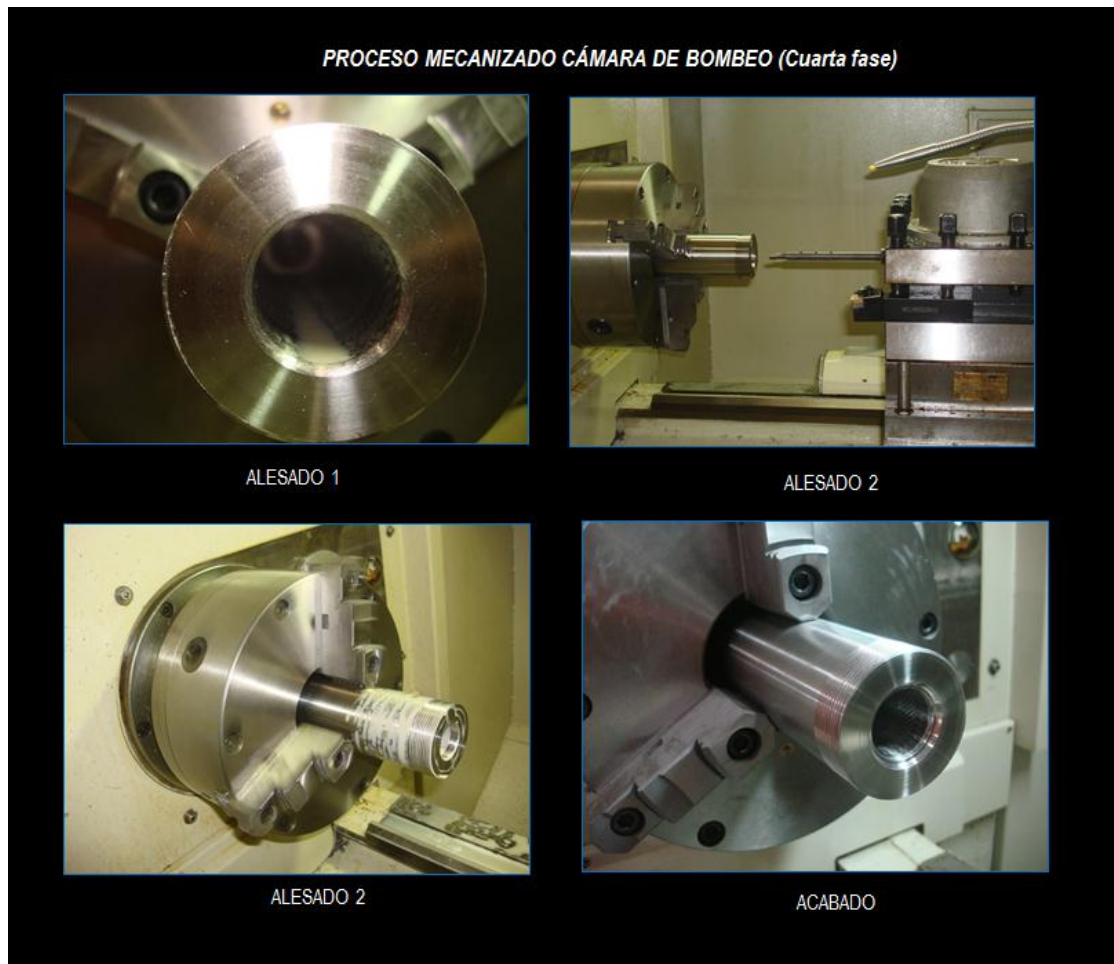
$$f_n = 0.1 \text{ mm/rev}$$

Figura 246. Proceso Mecanizado Cámara de Bombeo (tercera fase)



Fuente: Los Autores

Figura 247. Proceso Mecanizado Cámara de Bombeo (cuarta fase)



Fuente: Los Autores

Figura 248. Cámara de Bombeo Terminada



Fuente: Los Autores

6.6.11. Camisa Guía

El material establecido para esta pieza es el acero AISI 304, con las siguientes dimensiones:

- Diámetro exterior de 76.2 mm
- Largo 180 mm

6.6.11.1. Procesos de mecanizado

- Parámetros de corte para procesos de taladrado: como no se cuenta con el catálogo del fabricante de la broca, se tomó como guía los parámetros de corte de la tabla “AISI Type 201: Drilling” presentes en el anexo C. Con la dureza del acero AISI 304 (123HB) y el material de la broca utilizada (acero rápido HSS), se busca la velocidad de corte para un diámetro de la herramienta.

$$V_c = 18 \text{ m/min}$$

$$\varnothing 3.175\text{mm} = 1900 \text{ RPM}$$

$$\varnothing 3/32\text{mm} = 1200 \text{ RPM}$$

$$f_n = 0.063 \text{ mm/rev}$$

$$\varnothing 6\text{mm} = 955 \text{ RPM}$$

$$f_n = 0.063 \text{ mm/rev}$$

$$\varnothing 10\text{mm} = 572 \text{ RPM}$$

$$\varnothing 12\text{mm} = 477 \text{ RPM}$$

$$\varnothing 16\text{mm} = 358 \text{ RPM}$$

$$\varnothing 20\text{mm} = 286 \text{ RPM}$$

Los procesos para el taladrado interior fueron ejecutados manualmente.

- Parámetros de corte para procesos de desbaste y acabado en operaciones de alesado con la herramienta A16R-SCLCLC09: se toman los parámetros de corte de la tabla “AISI Type 201: Turning (Single Point and Box Tools)”, presentes en el anexo C. Que sin embargo deben ser adaptados.

Referencia de la plaquita: CCMT060204

Los parámetros de desbaste fueron definidos de la siguiente manera:

$$V_C = 160 \text{ m/min}$$

$$f_n = 0.3 \text{ mm/rev}$$

$$a_p = 0.3 \text{ mm}$$

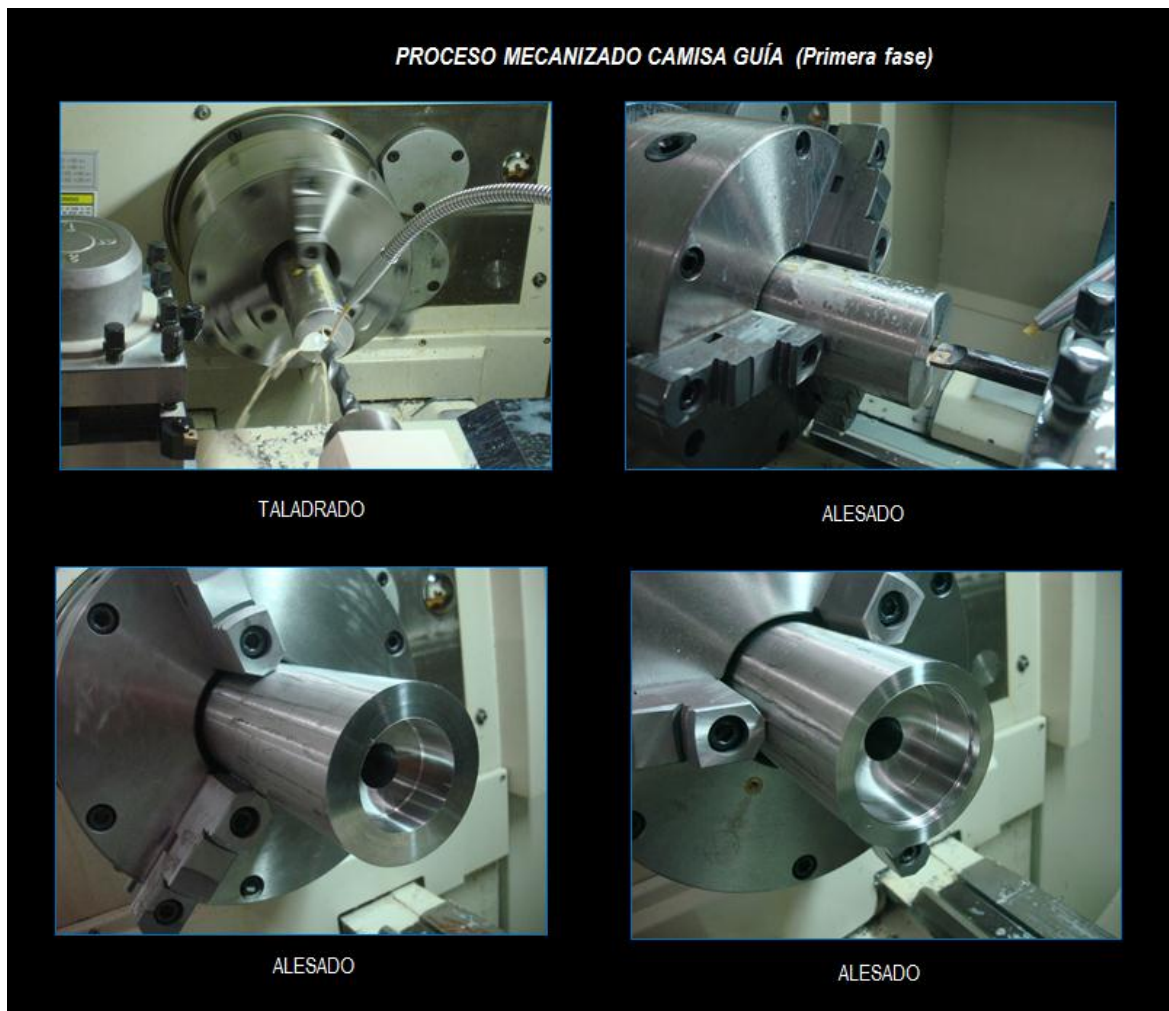
Los parámetros de acabado fueron definidos de la siguiente manera:

$$V_C = 190 \text{ m/min}$$

$$f_n = 0.1 \text{ mm/rev}$$

$$a_p = 0.1 \text{ mm}$$

Figura 249. Proceso Mecanizado Camisa Guía (primera fase)



Fuente: Los Autores

- Parámetros de corte para procesos de roscado métrico interno: se toma como referencia el catálogo del fabricante “Kennametal” para establecer los parámetros de corte siguiendo las fichas presentes en el anexo L.

Referencia de la plaquita: NT2LK Calidad 5025

$V_C = 50-185 \text{ m/min}$

$a_p = 1.039 \text{ mm}$; $n = 8$; número de pasadas

Los parámetros de corte definitivos son los siguientes:

$V_C = 477 \text{ RPM}$

$f_n = 2 \text{ mm/rev}$

$a_p = 0.2 \text{ mm}$; primera pasada, $n = 8$; número total de pasadas

- Parámetros de corte para procesos de desbaste: como no se cuenta con el catálogo del fabricante se tomó como guía los parámetros de corte de la tabla “AISI Type 201: Turning (Single Point and Box Tools)” presente en el anexo C, modificados como se muestra a continuación.

$V_C = 160 \text{ m/min}$

$f_n = 0.3 \text{ mm/rev}$

$a_p = 0.2 \text{ mm}$

- Parámetros de corte para procesos de acabado: se toma como referencia el catálogo del fabricante “Walter Tiger Tec” para establecer los parámetros de corte siguiendo las fichas presentes en el anexo D, modificados para mecanizar este tipo de acero.

Referencia de plaquita: VNMG160404-MNS calidad WPP20

$V_C = 110-200 \text{ m/min}$

$f_n = 0.08-0.16 \text{ mm/rev}$

$a_p = 0.5-1.5 \text{ mm}$

Los parámetros anteriores fueron modificados de la siguiente manera.

$V_C = 190 \text{ m/min}$

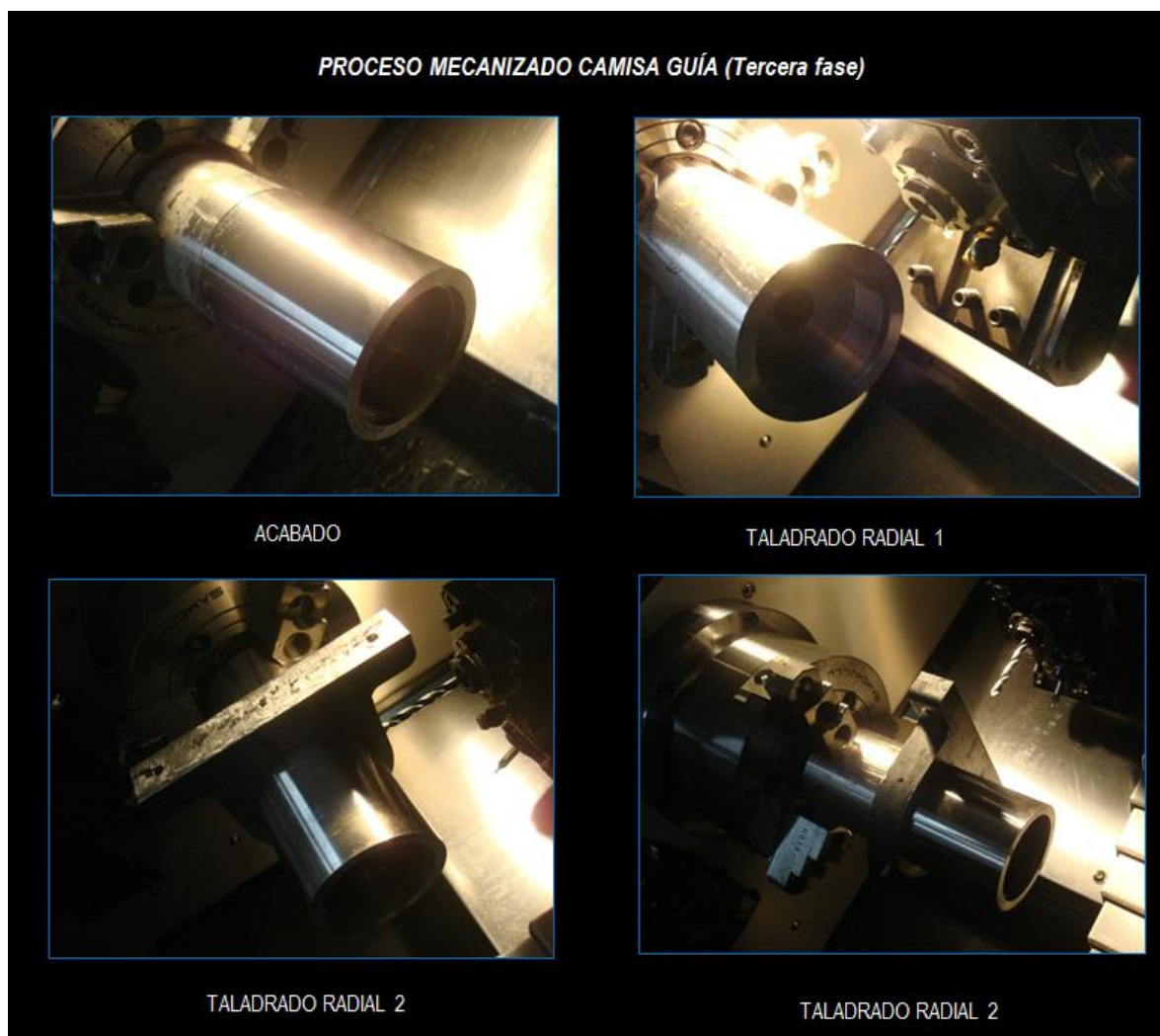
$f_n = 0.1 \text{ mm/min}$ $a_p = 0.1 \text{ mm}$

Figura 250. Proceso Mecanizado Camisa Guía (segunda fase)



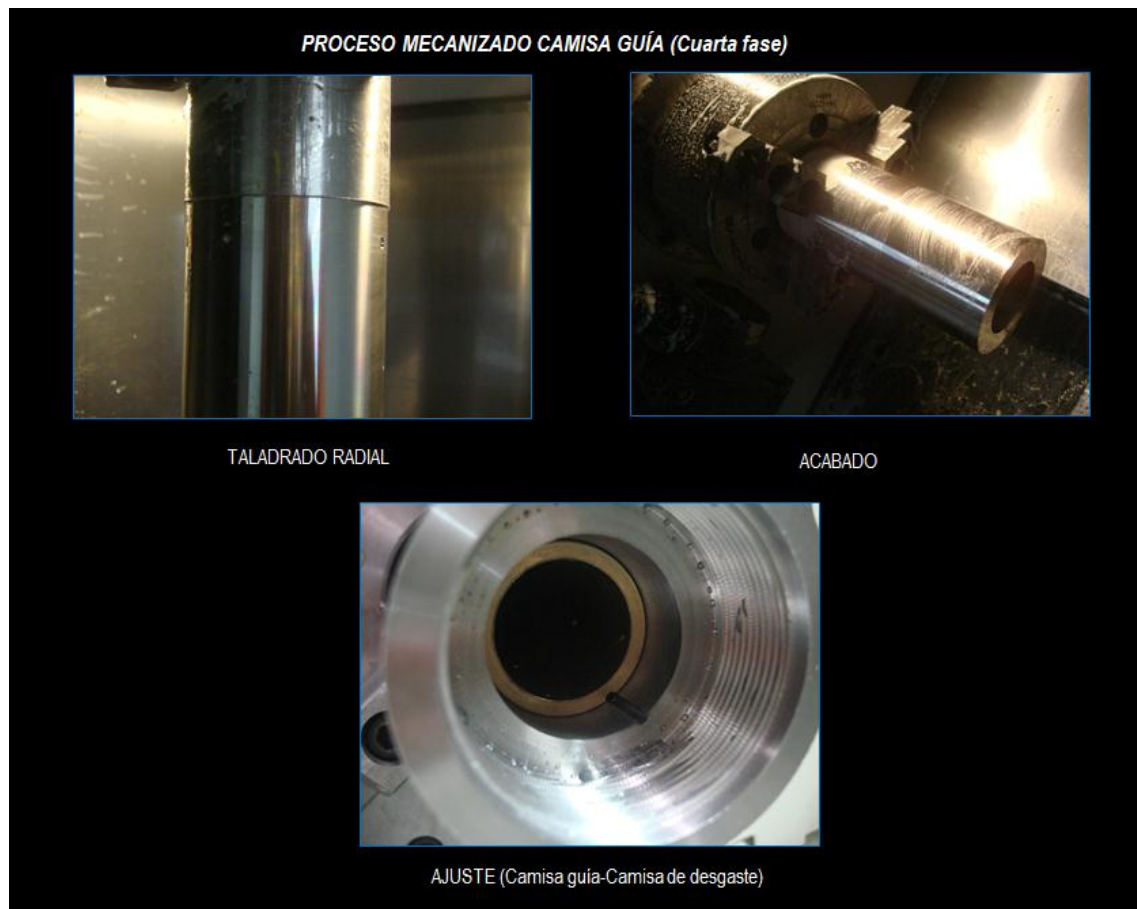
Fuente: Los Autores

Figura 251. Proceso Mecanizado Camisa Guía (tercera fase)



Fuente: Los Autores

Figura 252. Proceso Mecanizado Camisa Guía (cuarta fase)



Fuente: Los Autores

Figura 253. Camisa Guía Terminado



Fuente: Los Autores

6.6.12. Tapa de la Bomba

El material establecido para esta pieza es el acero AISI 304, con las siguientes dimensiones:

- Diámetro exterior de 114.3 mm
- Largo 120 mm

6.6.12.1. Procesos de mecanizado

- Parámetros de corte para procesos de taladrado: como no se cuenta con el catálogo del fabricante de la broca, se tomó como guía los parámetros de corte de la tabla “AISI Type 201: Drilling” presente en el anexo C. Con la dureza del acero AISI 304 (123HB) y el material de la broca utilizada (acero rápido HSS), se busca en la tabla la velocidad de corte para un diámetro de la herramienta.

$$V_C = 18 \text{ m/min}$$

$$\varnothing 3.175\text{mm} = 1900 \text{ RPM}$$

$$\varnothing 6\text{mm} = 955 \text{ RPM}$$

$$\varnothing 10\text{mm} = 572 \text{ RPM}$$

$$\varnothing 12\text{mm} = 477 \text{ RPM}$$

$$\varnothing 16\text{mm} = 358 \text{ RPM}$$

$$\varnothing 20\text{mm} = 286 \text{ RPM}$$

Los procesos para el taladrado interior fueron ejecutados manualmente.

- Parámetros de corte para procesos de desbaste y acabado en operaciones de alezado con la herramienta A16R-SCLCLC09: se toma los parámetros de corte de la tabla “AISI Type 201: Turning (Single Point and Box Tools)” presente en el anexo C. Que sin embargo deben ser adaptados.

Referencia de la plaquita: CCMT060204

Los parámetros de desbaste fueron definidos de la siguiente manera:

$$V_C = 160 \text{ m/min}$$

$$f_n = 0.3 \text{ mm/rev}$$

$$a_p = 0.3 \text{ mm}$$

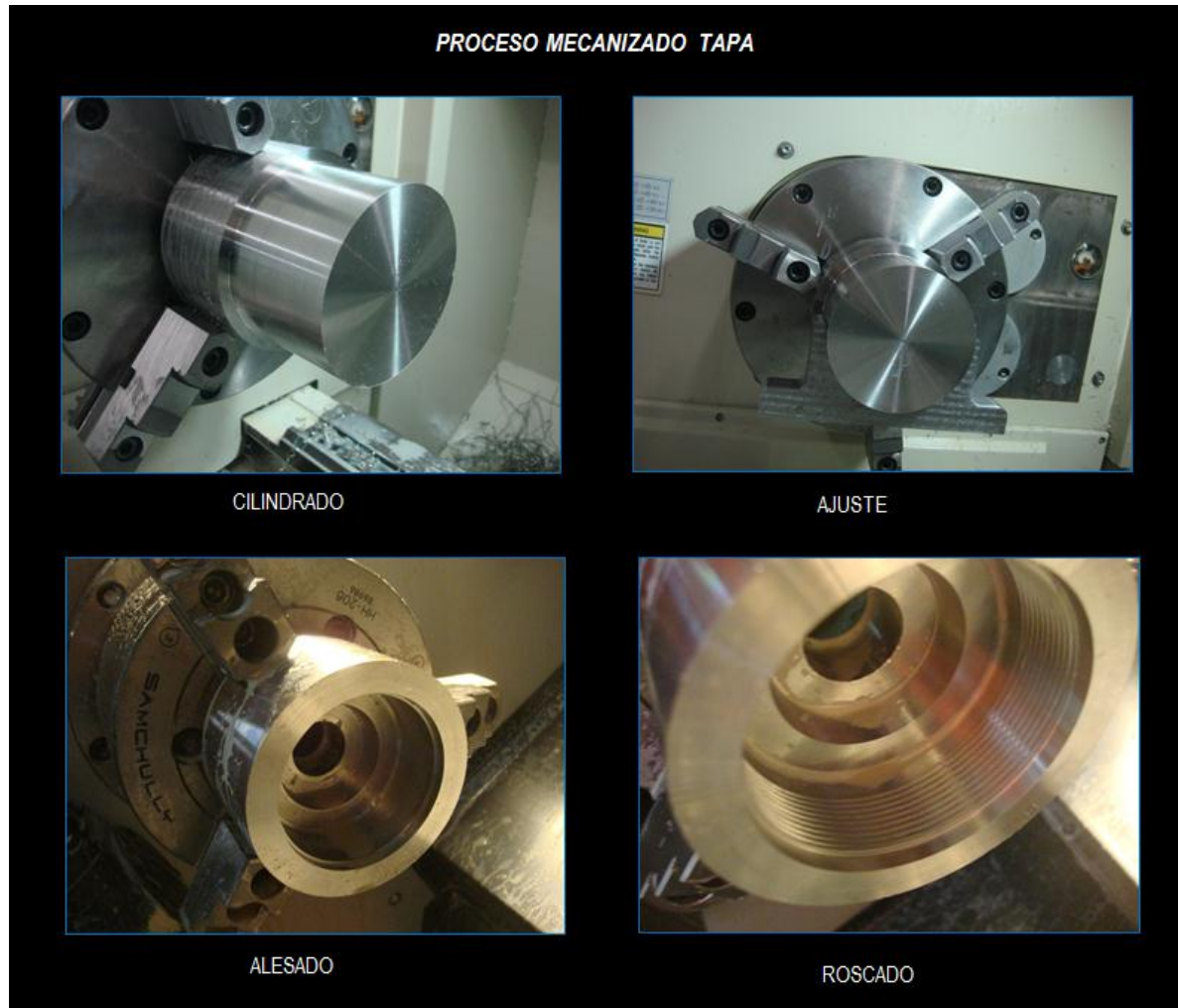
Los parámetros de acabado fueron definidos de la siguiente manera:

$$V_C = 190 \text{ m/min}$$

$$f_n = 0.1 \text{ mm/rev}$$

$$a_p = 0.1 \text{ mm}$$

Figura 254. Proceso Mecanizado Tapa



Fuente: Los Autores

- Parámetros de corte para procesos de roscado métrico interno: se toma como referencia el catálogo del fabricante “Kennametal” para establecer los parámetros de corte siguiendo las fichas presentes en el anexo L.

Referencia de la plaquita: NT2LK Calidad 5025

$V_C = 50-185 \text{ m/min}$

$a_p = 1.039 \text{ mm}$; $n = 8$; número de pasadas

Los parámetros de corte definitivos son los siguientes:

$V_C = 382 \text{ RPM}$

$f_n = 2 \text{ mm/rev}$

$a_p = 0.2 \text{ mm}$; primera pasada, $n = 8$; número total de pasadas

- Parámetros de corte para procesos de desbaste: como no se cuenta con el catálogo del fabricante se tomó como guía los parámetros de corte de la tabla "AISI Type 201: Drilling" presente en el anexo C, modificados como se muestra a continuación.

$V_C = 160 \text{ m/min}$

$f_n = 0.3 \text{ mm/rev}$

$a_p = 0.3 \text{ mm}$

- Parámetros de corte para procesos de acabado: se toma como referencia el catálogo del fabricante "Walter Tiger Tec" para establecer los parámetros de corte siguiendo las fichas presentes en el anexo D, modificados para mecanizar este tipo de acero.

Referencia de plaquita: VNMG160404-MNS calidad WPP20

$V_C = 110-200 \text{ m/min}$

$f_n = 0.08-0.16 \text{ mm/rev}$

$a_p = 0.5-1.5 \text{ mm}$

Los parámetros anteriores fueron modificados de la siguiente manera.

$V_C = 190 \text{ m/min}$

$f_n = 0.1 \text{ mm/min}$

$a_p = 0.1 \text{ mm}$

- Parámetros de corte para procesos de tronzado: se toma como referencia el catálogo del fabricante “Sandvik” para establecer los parámetros de corte siguiendo las fichas presentes en el anexo G.

Referencia de la plaquita: N151.2-300-5E calidad 2135

$V_C = 65-100 \text{ m/min}$

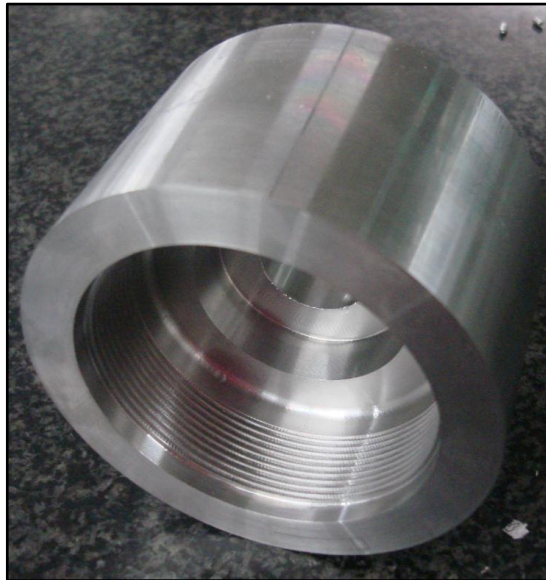
$f_n = 0.05-0.5 \text{ mm/rev}$

Los parámetros de tronzado fueron definidos por los siguientes:

$V_C = 84 \text{ m/min}$

$f_n = 0.05 \text{ mm/rev}$

Figura 255. Tapa Terminada



Fuente: Los Autores

6.6.13. Contador

El material establecido para esta pieza es el aluminio, con las siguientes dimensiones:

- Diámetro exterior de 114.3 mm
- Largo 70 mm

6.6.13.1. Procesos de mecanizado

- Parámetros de corte para procesos de taladrado: como no se cuenta con el catálogo del fabricante de la broca, se tomó como guía los parámetros de corte presentes en el anexo I. Se busca en la tabla con el aluminio si < 5% la velocidad de corte para un diámetro determinado de la herramienta.

$$V_C = 50 \text{ m/min}$$

$$\varnothing 3.175 \text{ mm} = 1500 \text{ RPM}$$

$$\varnothing 6 \text{ mm} = 1500 \text{ RPM}$$

$$\varnothing 10 \text{ mm} = 1500 \text{ RPM}$$

$$\varnothing 12 \text{ mm} = 1326.29 \text{ RPM}$$

$$\varnothing 16 \text{ mm} = 994.7 \text{ RPM}$$

$$\varnothing 20 \text{ mm} = 795.77 \text{ RPM}$$

Los procesos para el taladrado interior fueron ejecutados manualmente.

- Parámetros de corte para procesos de desbaste y acabado en operaciones de alesado con la herramienta A16R-SCLCLC09: Los parámetros de corte fueron sugeridos con ayuda del Instructor a cargo Ricardo Pabón, ya que no se cuentan con plaquitas especializadas para el mecanizado de aluminio.

Referencia de la plaquita: CCMT060204

Los parámetros de desbaste fueron definidos de la siguiente manera:

$$V_C = 160 \text{ m/min}$$

$$f_n = 0.3 \text{ mm/rev}$$

$$a_p = 0.3 \text{ mm}$$

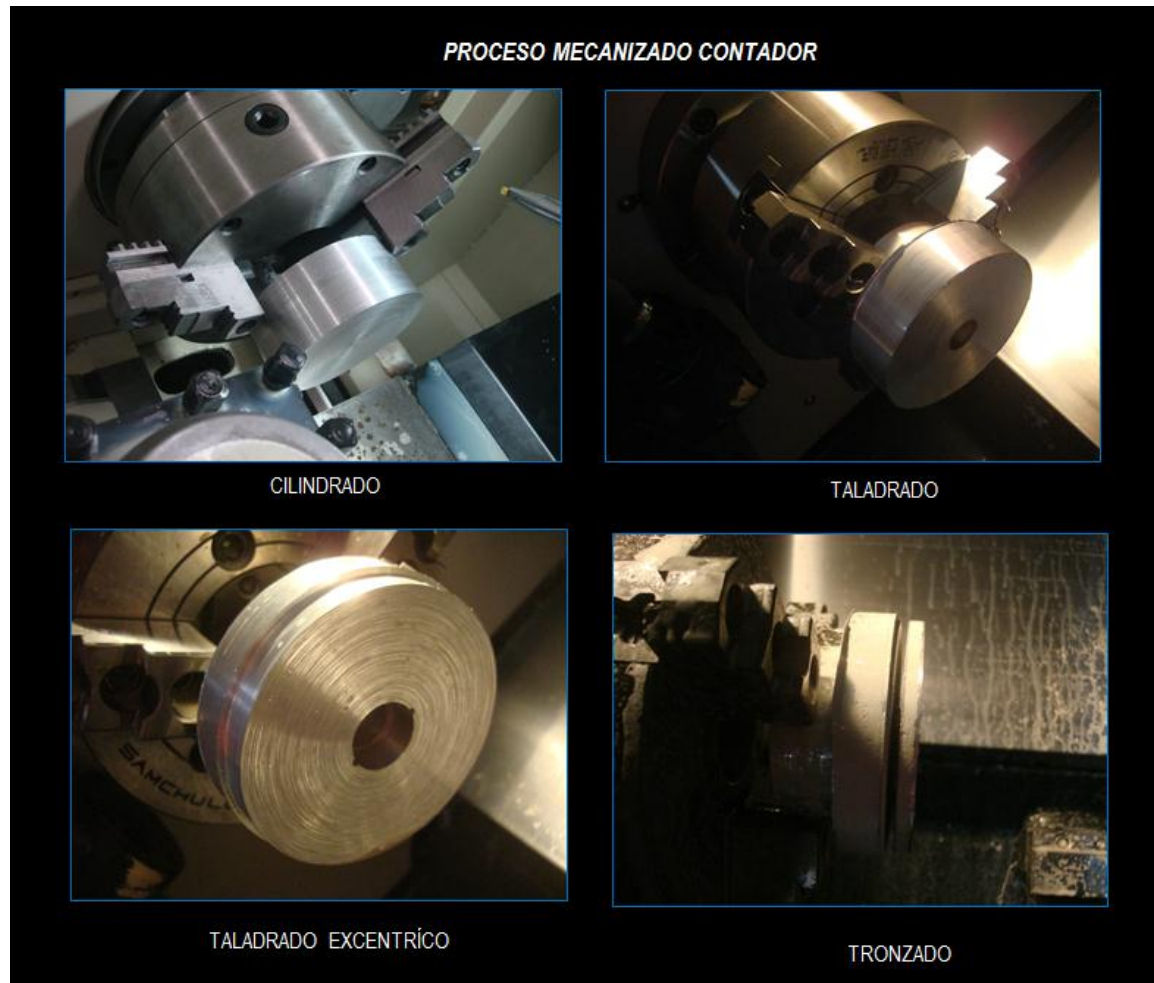
Los parámetros de acabado fueron definidos de la siguiente manera:

$$V_C = 190 \text{ m/min}$$

$$f_n = 0.1 \text{ mm/rev}$$

$$a_p = 0.1 \text{ mm}$$

Figura 256. Proceso Mecanizado Contador



Fuente: Los Autores

- Parámetros de corte para procesos de desbaste: como no se cuenta con el catálogo del fabricante se plantearon los siguientes parámetros como sugerencia del Instructor a cargo en el Laboratorio de CNC del SENA.

$$V_C = 190 \text{ m/min}$$

$$f_n = 0.2 \text{ mm/rev}$$

$$a_p = 0.4 \text{ mm}$$

- Parámetros de corte para procesos de acabado: se toma como referencia el catálogo del fabricante "Walter Tiger Tec" para establecer los parámetros de corte,

sin embargo los parámetros se modificaron ya que la calidad de la plaquita no es recomendada para trabajos con aluminio.

Los parámetros anteriores fueron modificados de la siguiente manera.

$$V_C = 220 \text{ m/min}$$

$$f_n = 0.1 \text{ mm/min}$$

$$a_p = 0.2 \text{ mm}$$

- Parámetros de corte para procesos de tronzado: se toma como referencia el catálogo del fabricante “Sandvik” sin embargo los parámetros se modificaron ya que la calidad de la plaquita no es recomendada para trabajos con aluminio.

Referencia de la plaquita: N151.2-300-5E calidad 2135

Los parámetros de tronzado fueron definidos a continuación:

$$V_C = 95 \text{ m/min}$$

$$f_n = 0.1 \text{ mm/rev}$$

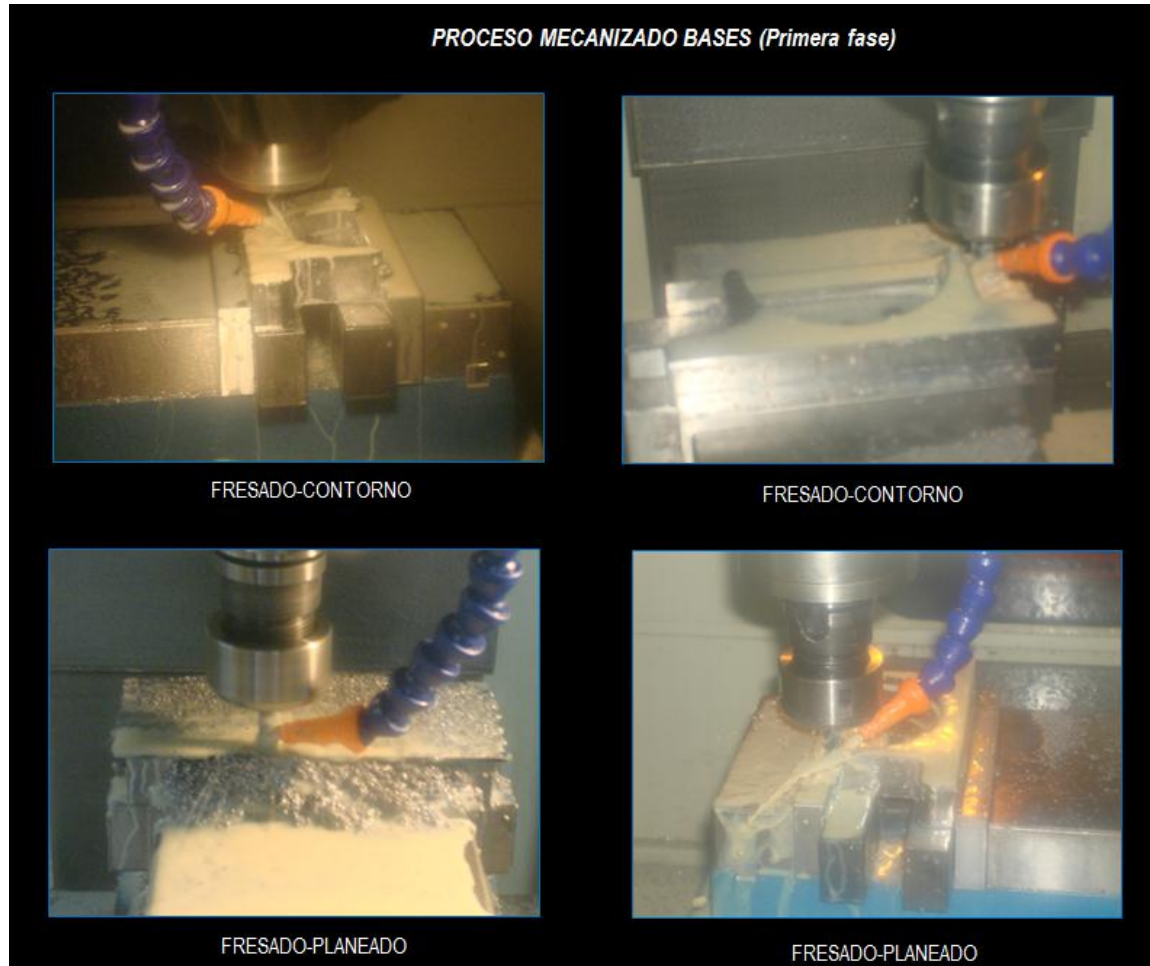
Figura 257. Contador Terminado



Fuente: Los Autores

6.6.14. Bases

Figura 258. Proceso Mecanizado Bases (primera fase)



Fuente: Los Autores

El proceso de mecanizado para las bases estuvo sujeto a los mismos parámetros de corte y operaciones de mecanizado similares, pues son del mismo material (AISI 1045). Los parámetros de corte pueden ser los mismos que el AISI 1030.

- La herramienta de corte utilizada fue un escariador de diámetro 9.525 mm, de carburo de tungsteno.

Parámetros de corte:

Revoluciones: 1800 PRM

Avance: 180 mm/min

$a_p = 0.54 \text{ mm}$

Figura 259. Proceso Mecanizado Bases (segunda fase)



Fuente: Los Autores

- Los parámetros de corte para taladrado se pueden encontrar en la tabla “AISI 1030, 1034,1035: Drilling” el anexo C, con la dureza del material (Dureza del acero AISI 1045 - 179 HB), el material de la herramienta de corte (acero rápido HSS) y su diámetro.

$\varnothing = 6 \text{ mm}$

$V_c = 1200 \text{ RPM}$

Figura 260. Base Frontal Terminada



Fuente: Los Autores

Figura 261. Base Antigiro Terminada



Fuente: Los Autores

Figura 262. Base Posterior Terminada



Fuente: Los Autores

6.6.15. Pines – palancas

El material establecido para los pines (Pasador Antigiro, Pasador Tuerca-Camisa de desgaste) es acero AISI 304, que cuenta con una operación de mecanizado programada manualmente.

- El desbaste fue programado para mecanizar el diámetro exterior de 6.35 mm a 5.4 mm utilizando los ciclos de torneado (G71) y otros códigos para obtener la geometría de los chaflanes (K); seguido de un acabado con una profundidad $a_p = 0.1$ mm por pasada para conseguir un diámetro exterior nominal de 5mm.

$V_c_{\text{desbaste}} = 150$ m/min

$V_c_{\text{acabado}} = 180$ m/min

- El taladrado se realizó manualmente con una broca de 2.5 mm para posteriormente efectuar un roscado M3.

Figura 263. Proceso Mecanizado Pin-Palanca



Fuente: Los Autores

Figura 264. Pin Terminado



Fuente: Los Autores

El material establecido de las Palancas para Torque es acero AISI 4140, que cuenta con una operación de mecanizado programada similar a los pines, solo varia en un redondeo al implementar otros códigos (i, j) y un taladrado que se realiza radialmente en el diámetro que ajusta con los agujeros del Volante. Esta operación de taladrado se lleva a cabo en el momento en que se mecaniza el Volante.

Figura 265. Palanca Terminada



Fuente: Los Autores

6.6.16. Manifold

El material establecido para esta pieza es el acero AISI 1045, con las siguientes dimensiones:

- Diámetro exterior de 76.2 mm
- Largo 120 mm

Los parámetros de corte son definidos mediante catálogos de acuerdo a la calidad de las herramientas disponibles y en otros casos utilizando parámetros

recomendados en el libro "Engineering Properties of Steels, de Philip. D HARVEY".

6.6.16.1. Procesos de mecanizado

Para los parámetros de corte en donde no se cuenta con el catálogo del fabricante de las plaquitas utilizadas, se tomó como referencia las tablas para diversos materiales y operaciones de mecanizado, presentes en el anexo C. En el caso del acero AISI 1045 la información del libro "Engineering Properties of Steels, de Philip. D HARVEY", recomienda usar las tablas para procesos de mecanizado del acero AISI 1034.

- Parámetros de corte para procesos de desbaste: como no se cuenta con el catalogo del fabricante se tomó como guía los parámetros de corte de la tabla "AISI 1030, 1034.1035: Turning (Single Point and Box Tools)" presente en el anexo C, sin embargo estos procesos se realizaron manualmente

$$V_C = 150 \text{ m/min}$$

$$a_p = 0.5 \text{ mm}$$

- Parámetros de corte para procesos de acabado: se toma como referencia el catálogo del fabricante "Walter Tiger Tec" para establecer los parámetros de corte presentes en el anexo D.

Referencia de plaquita: VNMG160404-MNS calidad WPP20

$$V_C = 140-160 \text{ m/min}$$

$$a_p = 0.5-1.5 \text{ mm}$$

El avance se modificó en este proceso ya que el mecanizado realizado en el torno CNC "HNC" serie CK6032/70 fue netamente manual,

$$V_C = 150 \text{ m/min}$$

$$a_p = 0.1 \text{ mm}$$

- Parámetros de corte para procesos de fresado. Como no se cuenta con el catálogo del fabricante del escariador, se tomó como guía los parámetros de corte de la tabla “AISI1340, 1340H: Face Milling” presente en el anexo C. Con la dureza del acero AISI 1045 (179HB) y el material del escariador utilizado (metal duro recubierto), se busca en la tabla del anexo C la velocidad de corte para una profundidad de 1mm.

$$V_C = 170 \text{ m/min}$$

$$f_{n/\text{diente}} = 0.2 \text{ mm}$$

$$a_p = 1 \text{ mm}$$

Los parámetros anteriores fueron modificados debido a que el proceso se hizo manualmente.

$$V_C = 1800 \text{ RPM}$$

$$a_p = 0.3 \text{ mm}$$

- Parámetros de corte para procesos de taladrado: se tomó como guía los parámetros de corte de la tabla “AISI 1030, 1034,1035: Drilling” presentes en el anexo C. Con la dureza del acero AISI 1045 (179HB) y el material de la broca utilizada (acero rápido HSS), se busca en la tabla la velocidad de corte para un diámetro de la herramienta.

$$V_C = 20 \text{ m/min}$$

$$\varnothing 3.175\text{mm} = 1900 \text{ RPM}$$

$$f_n = 48 \text{ mm/min}$$

$$\varnothing 3/32\text{mm} = 1200 \text{ RPM}$$

$$f_n = 0.063 \text{ mm/rev}$$

$$\varnothing 6\text{mm} = 955 \text{ RPM}$$

$$f_n = 0.063 \text{ mm/rev}$$

$$\varnothing 8.5\text{mm} = 716 \text{ RPM}$$

$$f_n = 0.13 \text{ mm/rev}$$

$$\varnothing 10\text{mm} = 572 \text{ RPM}$$

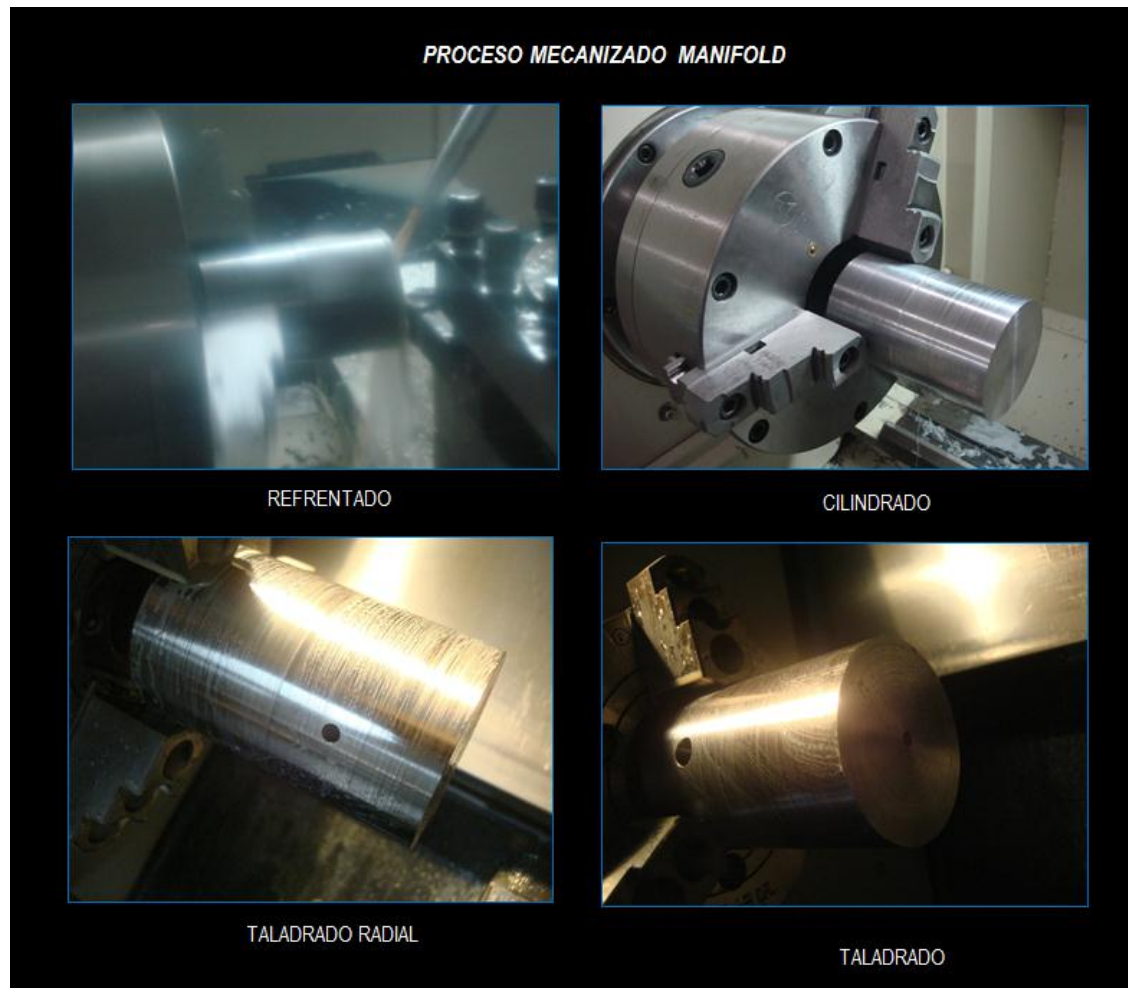
$$f_n = 0.21 \text{ mm/rev}$$

$\varnothing 11.5\text{mm} = 477 \text{ RPM}$

$f_n = 0.25 \text{ mm/rev}$

$\varnothing 18\text{mm} = 358 \text{ RPM}$

Figura 266. Proceso Mecanizado Manifold



Fuente: Los Autores

6.7. PRUEBA DE ESTANQUEIDAD DEL PROTOTIPO DE BOMBA MANUAL DE DESPLAZAMIENTO POSITIVO A LA MÁXIMA PRESIÓN DE DISEÑO 10000 psi

Para dar validación al diseño y verificar que efectivamente el prototipo de bomba alcanza la presión máxima de diseño de 10000 psi, se decidió realizar una prueba

de estanqueidad a esta presión con una duración de 30 minutos, para verificar si en el prototipo se presenta alguna caída de presión que seria una clara señal de fugas, ya sea en las conexiones o en el interior de la bomba.

La ejecución de la prueba de estanqueidad se llevo a cabo con el prototipo de bomba montado en la estructura, siguiendo los siguientes pasos:

- Primero: se procede a realizar el llenado previo de la bomba.
- Segundo: se procede a realizar la configuración del montaje para la prueba, conectando una línea directa del puerto de descarga de la bomba a una válvula de aguja la cual va conectada con un puerto en el manifold. Se cierra el puerto de succión con un tapón de 1/4 OD, se reemplaza la válvula de seguridad dispuesta en el manifold debido a que su presión de preapertura es 5600 psi, con un codo de 1/4 OD x 1/4 NPT adicionando un tapón de 1/4 OD y por último se bloquea el flujo de la línea de salida del manifold con un tapón 1/8 OD.

Figura 267. Prueba del Prototipo de Bomba de desplazamiento positivo



Fuente: Los Autores

- Tercero: se procede a realizar la purga del sistema para desalojar el exceso de aire en la línea de descarga.

Se inició la presurización del sistema hasta alcanzar los 5000 psi, dejando un lapso de tiempo de 15 minutos para observar si se efectuaban caídas de presión. Observando una caída de presión relativamente rápida a 4900 psi, que luego se mantuvo durante el tiempo de espera. Se presume que esta caída pudo ser por la presencia de aire aun en el sistema, esto debido a que no se observo ninguna fuga en los accesorios ni en el cuerpo de la bomba.

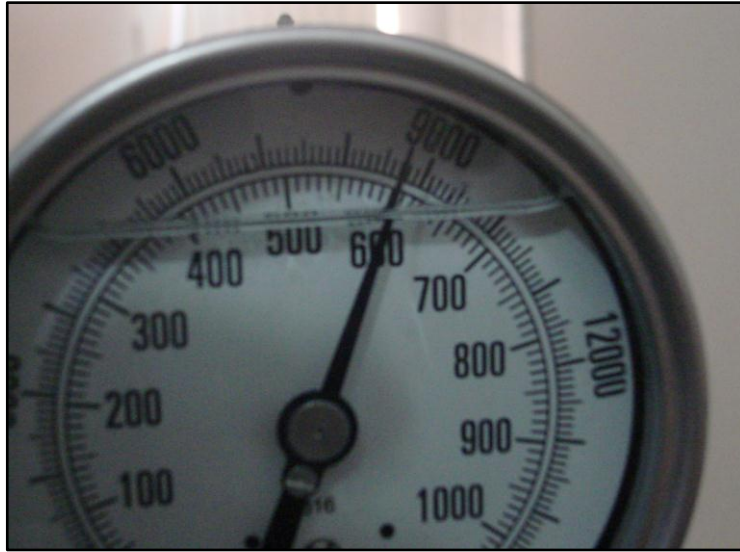
Figura 268. Presión de prueba-bomba 4900 psi



Fuente: Los Autores

Se intentó alcanzar la presión de 10000 psi, sin embargo no fue posible debido a que con 8700 psi la válvula de aguja del sistema presentó fugas.

Figura 269. Presión de prueba bomba 8700 psi



Fuente: Los Autores

Se propuso entonces retirar la válvula de aguja de la línea de descarga, realizando una conexión directa del puerto de descarga de la bomba al manifold y realizando los pasos anteriores para la presurización del sistema.

Después de haber alcanzado nuevamente los 5000 psi, se continuó presurizando hasta alcanzar los 10000 psi, se espero un tiempo de reposo para el sistema de 30 minutos donde la presión descendió 200 psi; asumiendo nuevamente como posible causa presencia de aire en el sistema.

Para descartar cualquier posibilidad de fuga en la bomba se elevó de nuevo la presión hasta alcanzar los 10000 psi, aguardando por otros 30 minutos con revisiones periódicas cada diez minutos, visualizando el comportamiento de la presión. Se observó que la presión en el sistema se mantuvo durante esta media hora en 10000 psi, garantizando de esta forma la funcionalidad e integridad del prototipo de bomba.

Figura 270. Presión de prueba-bomba 10000 psi



Fuente: Los Autores

7. MONTAJE, OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DEL PROTOTIPO DE BOMBA MANUAL DE DESPLAZAMIENTO POSITIVO

7.1. ENSAMBLE DE LOS ELEMENTOS DEL PROTOTIPO DE BOMBA DE DESPLAZAMIENTO POSITIVO

El proceso de ensamblaje del prototipo de bomba se hace mediante el montaje de determinados componentes en grupos independientes, que luego son ensamblados para obtener como resultado el ensamble del conjunto completo del prototipo de bomba, como se muestra a continuación.

7.1.1. Ensamble del conjunto Pistón

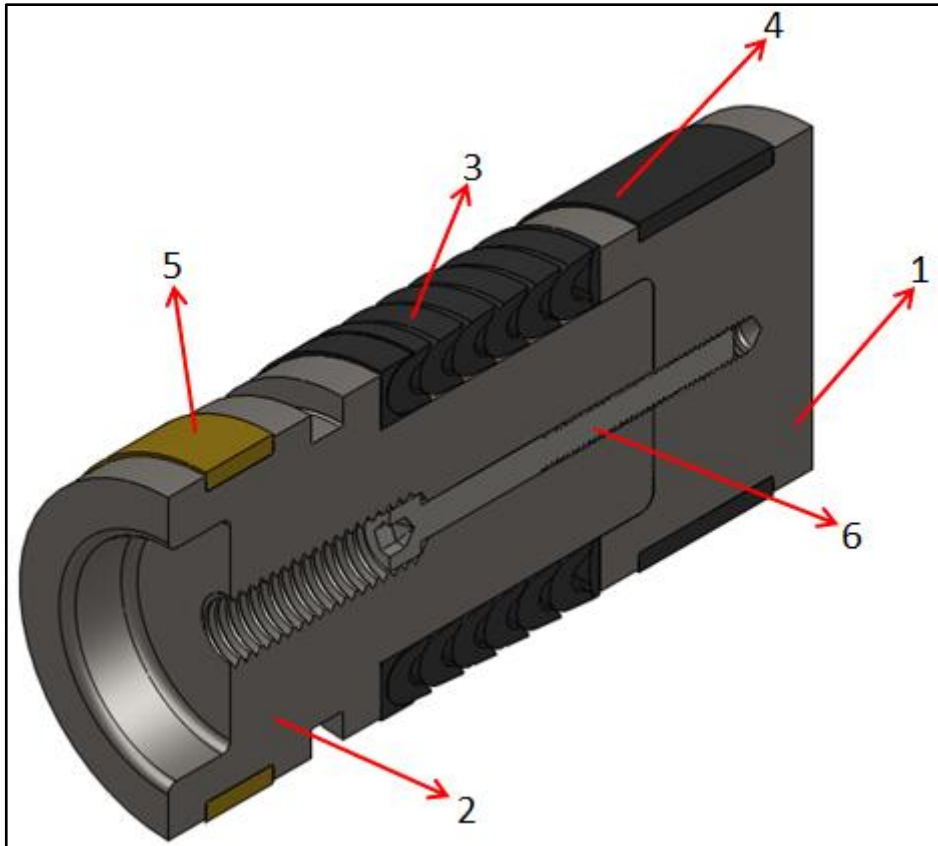
Los elementos para esta etapa son:

- Pistón Tapa (1)
- Pistón (2)
- Vee-Packing (VS07503X082) (3)
- Guías de desgaste (606T-025) (4)
- Guías de desgaste (606-112-050) (5)
- Tornillo M3 (6)

El ensamble se lleva a cabo introduciendo los anillos del sello (3) sobre el cuerpo del pistón, ajustando el Pistón Tapa (1) sobre la superficie de los sellos mediante un tornillo (6). Se procede a ubicar las guías de desgaste (4-5) en su respectiva posición.

El tornillo (6) debe roscarse solo para evitar que se salgan el pistón tapa (1) del ensamble, aún no se debe ajustar este elemento.

Figura 271. Ensamble 1



Fuente: Los Autores

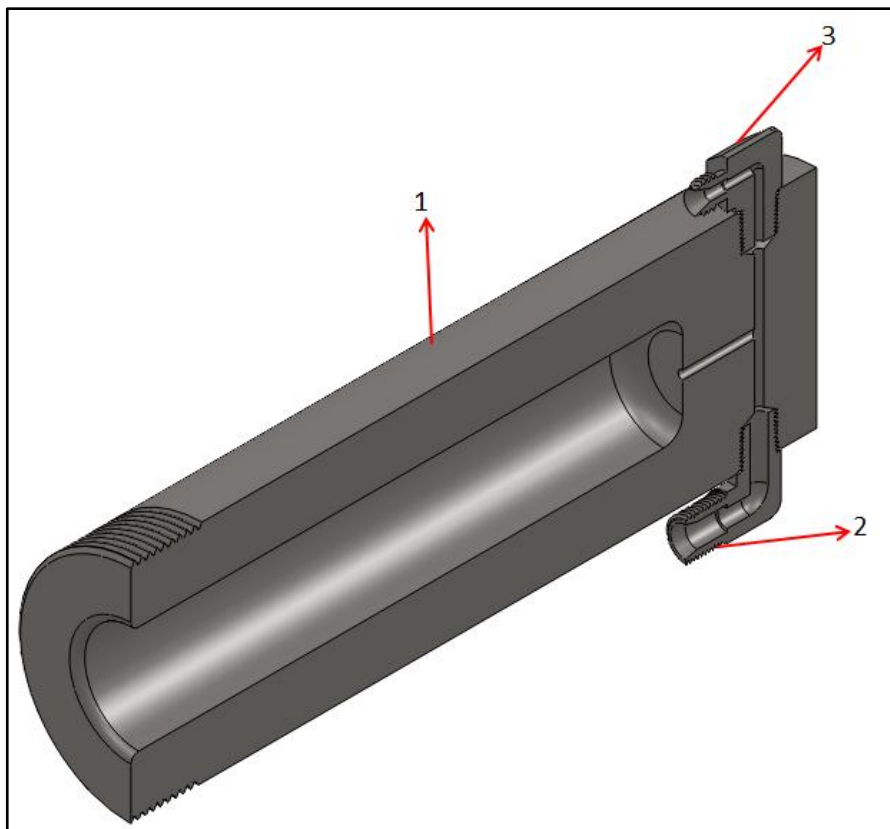
7.1.2. Ensamble Cámara de bombeo – Racores

Los elementos de esta etapa son:

- Cámara de Bombeo (1)
- Racor de succión: codo 1/8 NPT x 1/4 OD (2)
- Racor de descarga: codo 1/8 NPT x 1/8 OD (3)

Se debe sujetar la cámara de bombeo (1) en una prensa, colocar teflón (preferiblemente de alta densidad) alrededor de la conexión NPT de los codos (2-3) y aplicar un bajo torque en el momento de roscar estos elementos para no dañar la rosca NPT debido a que esta es muy delicada.

Figura 272. Ensamble 2



Fuente: Los Autores

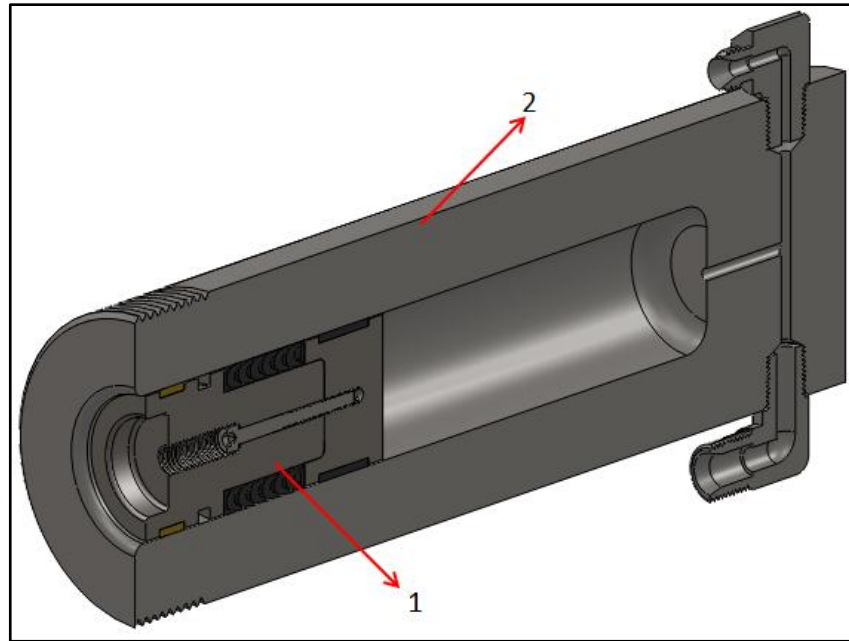
7.1.3. Ensamble Cámara de Bombeo – conjunto Pistón

Los elementos de esta etapa son:

- Ensamble conjunto Pistón (1)
- Ensamble Cámara de bombeo – Racores (2)

Se debe lubricar las superficies de los ensambles que van a entrar en contacto, luego se introducen con cuidado de no rayar la superficie interna de la cámara de bombeo el ensamble conjunto Pistón (1). De debe ajustar finalmente con una llave bristol el tornillo del conjunto Pistón (1).

Figura 273. Ensamble 3



Fuente: Los Autores

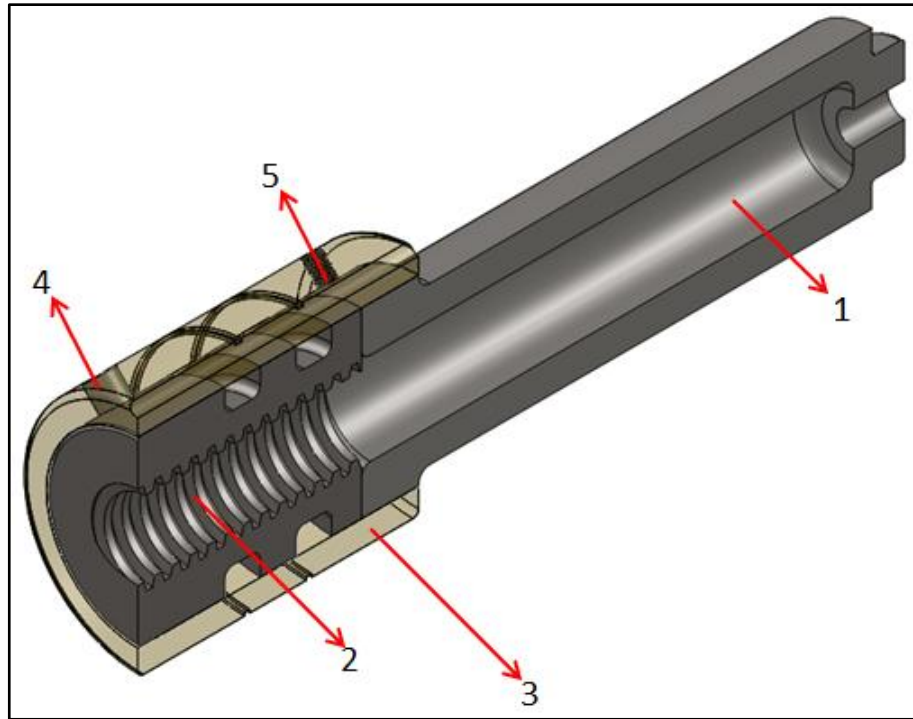
7.1.4. Ensamble del conjunto de transmisión de potencia

Los elementos de esta etapa son:

- Vástago (1)
- Tuerca (2)
- Camisa de Desgaste (3)
- Pasador Tuerca – Camisa de Desgaste (4)
- Tornillos prisioneros M3 (5)

Se debe introducir la tuerca (2) en la guía interna de la Camisa de Desgaste (3) alineando las perforaciones radiales de ambos elementos, se ubica luego el conjunto de pasadores Tuerca – Camisa de Desgaste (4). Se introduce finalmente el vástago (1) sobre el espacio que queda restando en el interior de la Camisa de Desgaste (3), se gira el elemento hasta conseguir alinear los agujeros radiales para introducir sobre estos los tornillos prisioneros (5).

Figura 274. Ensamble 4



Fuente: Los Autores

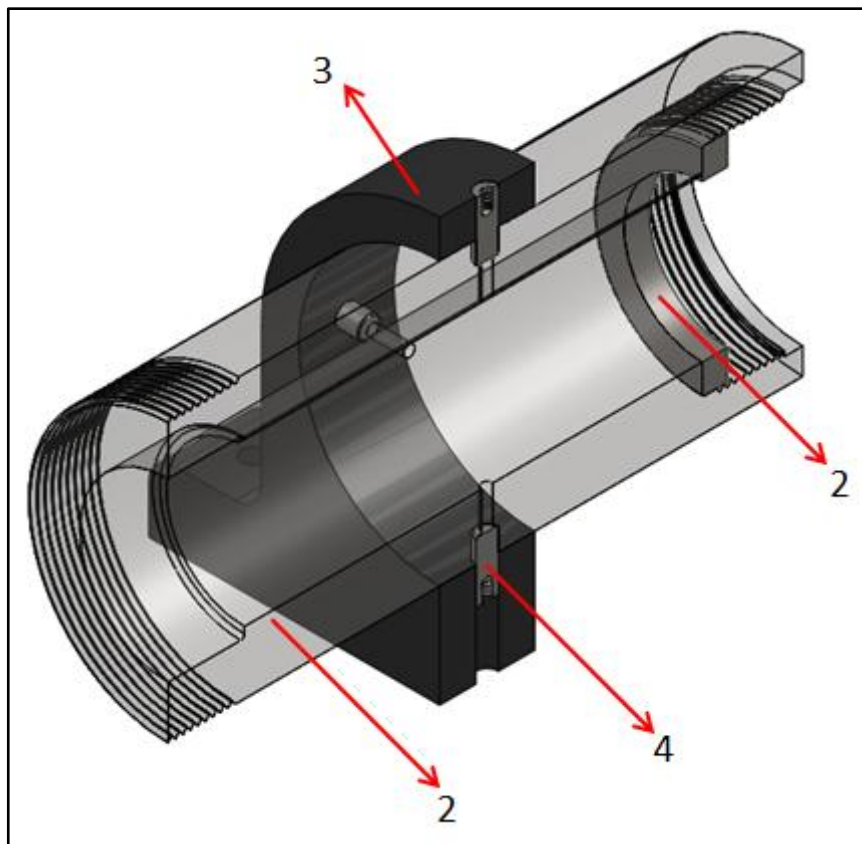
7.1.5. Ensamble conjunto antigiro

Los elementos de esta etapa son:

- Camisa Guía (1)
- Separador Camisas (2)
- Base Antigiro (3)
- Pasador Antigiro (4)

Se debe lubricar la superficie interna de la Base Antigiro (4) para deslizarla sobre la Camisa Guía (1) hasta encontrar los agujeros radiales y alinearlos para fijar estas dos piezas mediante cuatro Pasadores Antigiro (4), finalmente se ubica el Separador Camisas en el sitio correspondiente.

Figura 275. Ensamble 5



Fuente: Los Autores

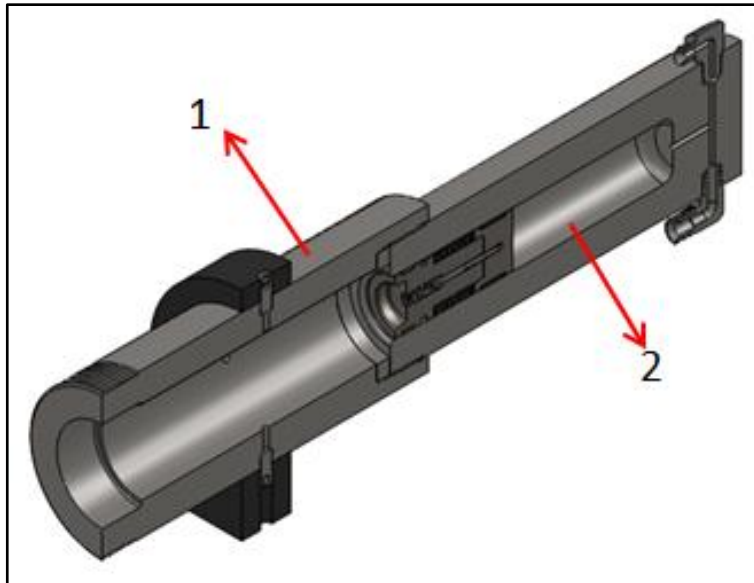
7.1.6. Ensamble conjunto anti giro – conjunto Cámara de Bombeo

Los elementos de esta etapa son:

- conjunto anti giro (1)
- Cámara de Bombeo – conjunto Pistón (2)

Se apoya el ensamble conjunto anti giro (1) sobre una superficie plana y posteriormente se rosca el ensamble Cámara de Bombeo – conjunto Pistón (2) hasta llegar a tope. El ajuste debe ser efectuado manualmente.

Figura 276. Ensamble 6



Fuente: Los Autores

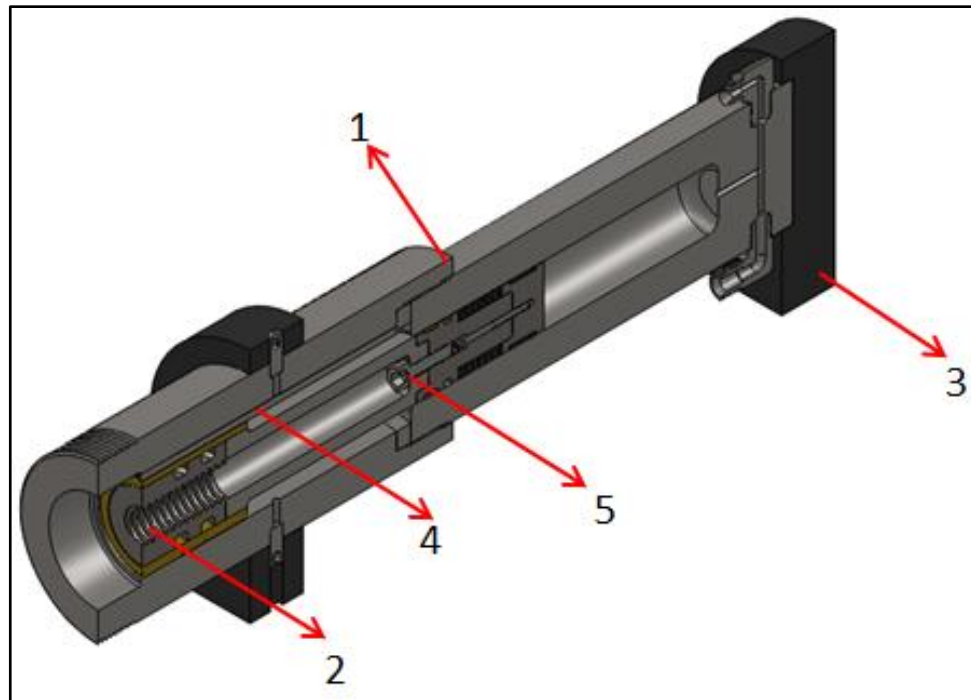
7.1.7. Ensamble de Línea

Los elementos de esta etapa son:

- Conjunto antigiro – conjunto Cámara de Bombeo (1)
- Conjunto de transmisión de potencia (2)
- Base Posterior (3)
- Pasador Tuerca – Camisa de Desgaste (4)
- Tornillo M6 bristol (5)

Se ajusta la Base posterior (3) con el Conjunto antigiro – conjunto Cámara de Bombeo (1) con el fin de darle estabilidad al conjunto y posteriormente se introduce de manera cuidadosa el conjunto de transmisión de potencia (2) para no rayar el interior de la Camisa Guía. Se efectúa la lineación de los cuñeros presentes en la Camisa Guía y en la Camisa de Desgaste para luego insertar el Pasador Tuerca – Camisa de Desgaste (4) que restringe el giro de la tuerca.

Figura 277. Ensamble 7



Fuente: Los Autores

7.1.8. Ensamblaje de Línea 2

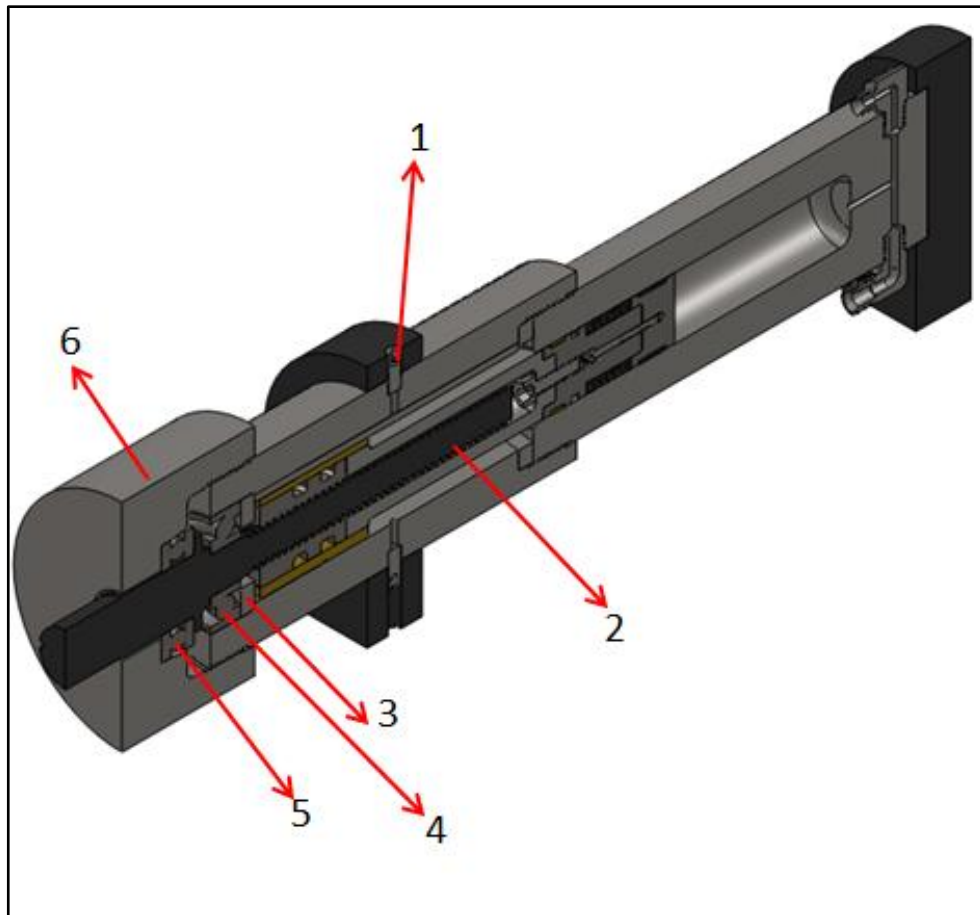
Los elementos de esta etapa son:

- Ensamble de Línea (1)
- Tornillo de Potencia ACME (2)
- Separador Rodamiento – Tuerca (3)
- Rodamiento de contacto angular (4)
- Rodamiento axial (5)
- Tapa de la Bomba (6)

Se ubica el Separador Rodamiento – Tuerca (3) en la posición indicada, luego se ubica el Rodamiento de contacto angular (4), se introduce el Tornillo de Potencia ACME (2) el cual gira hasta topa con el rodamiento de contacto angular.

Se monta el rodamiento axial (5) sobre la Tapa de la Bomba (6), y se rosca manualmente sobre la camisa Guía.

Figura 278. Ensamble 8



Fuente: Los Autores

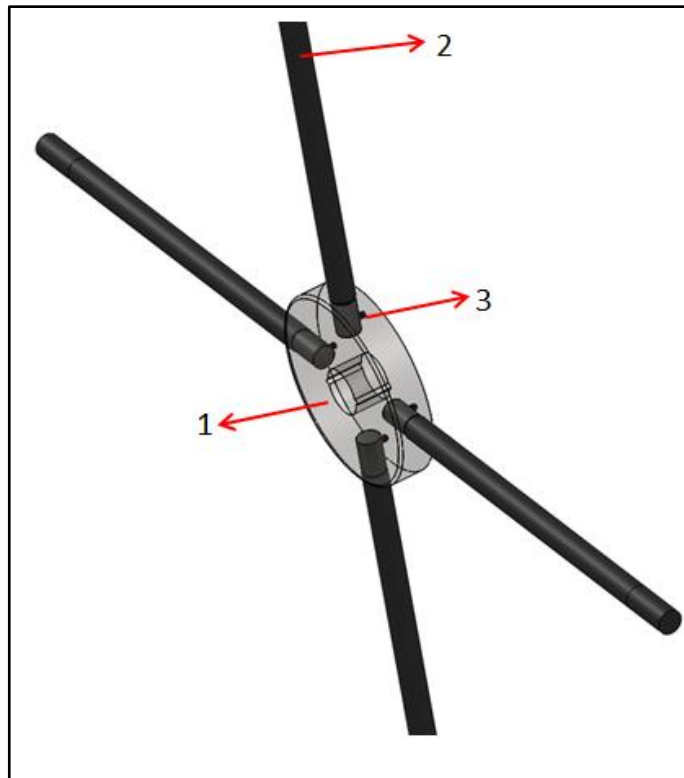
7.1.9. Ensamble conjunto Torque

Los elementos de esta etapa son:

- Volante (1)
- Palanca para Torque (2)
- Tornillo prisionero M3 (3)

Se deben ubicar sobre el Volante (1) las cuatro Palancas para Torque (2), alineando los agujeros que permiten ajustar un tornillo prisionero (3) y evitan que las Palancas se salgan.

Figura 279. Ensamble 9



Fuente: Los Autores

7.1.10. Ensamble FINAL

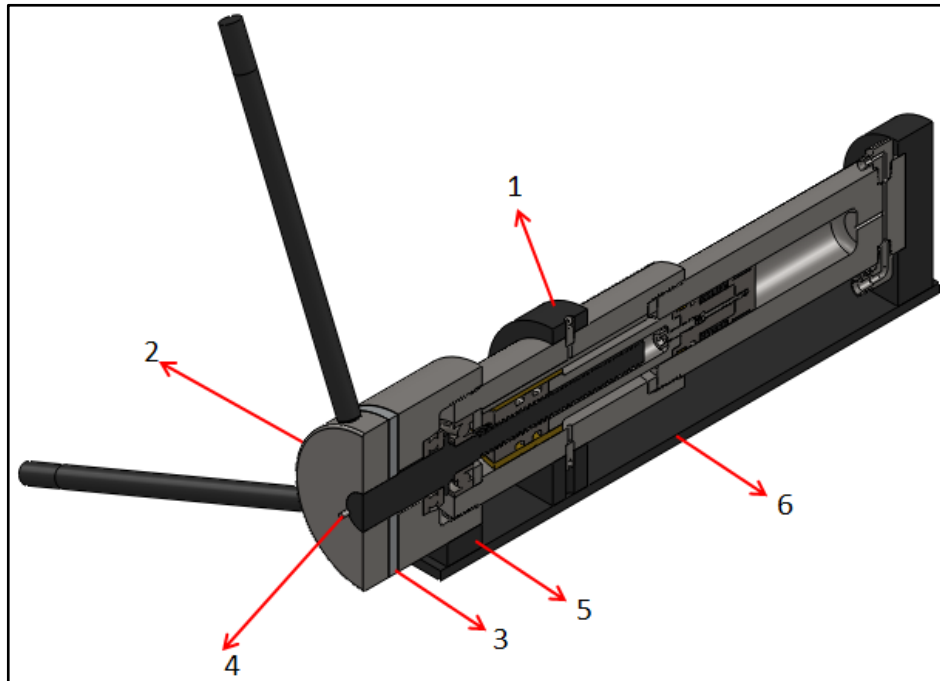
Los elementos de esta etapa son:

- Ensamble de Línea 2 (1)
- Ensamble conjunto Torque (2)
- Contador (3)
- Cuña Tornillo – Volante (4)
- Base Frontal (5)
- Soporte Bomba (6)

Se ubica el Contador (3) sobre el Ensamble de Línea 2 (1) seguido del ensamble Conjunto Torque (2), alineando los Cuñeros de estos elementos para bloquear el

giro relativo con respecto al Tornillo y así poder transmitir el torque que ejerce el operario.

Figura 280. Ensamble FINAL



Fuente: Los Autores

7.2. OPERACIÓN DEL PROTOTIPO DE BOMBA DE DESPLAZAMIENTO POSITIVO EN EL BANCO DE PRUEBAS DE INTEGRIDAD EN TUBERÍA

7.2.1. Preparación de la bomba prototipo para un banco de pruebas

Para adaptar el prototipo de bomba a un banco de pruebas independiente donde se requiera su servicio se debe:

- Adaptar las bases del prototipo de bomba a la estructura del banco mediante tornillos de sujeción pasantes para garantizar su estabilidad.
- Conectar una línea de 1/4 NPT al puerto de succión
- Conectar una línea de 1/8 NPT al puerto de descarga

- Conectar válvulas antirretorno en las líneas de succión y descarga del sistema, verificando por encima de la presión de la prueba de integridad que se vaya a manejar.
- Verificar que las demás válvulas (control de flujo, seguridad) y accesorios del sistema estén por encima de la presión de prueba.
- Conectar en la línea de descarga un manómetro de alta sensibilidad para obtener precisión en la prueba de integridad.

Lo anterior son los requisitos mínimos que son sugeridos para cualquier tipo de banco de pruebas de integridad, donde se requiera alcanzar presiones permitidas por el prototipo de bomba diseñada y que no sean sustentables por otro tipo de dispositivo presurizador. Lo mencionado en los parámetros anteriores se implementó en un banco de pruebas que está dispuesto de la siguiente manera:

Figura 281. Montaje adecuado para el prototipo de Bomba de desplazamiento positivo



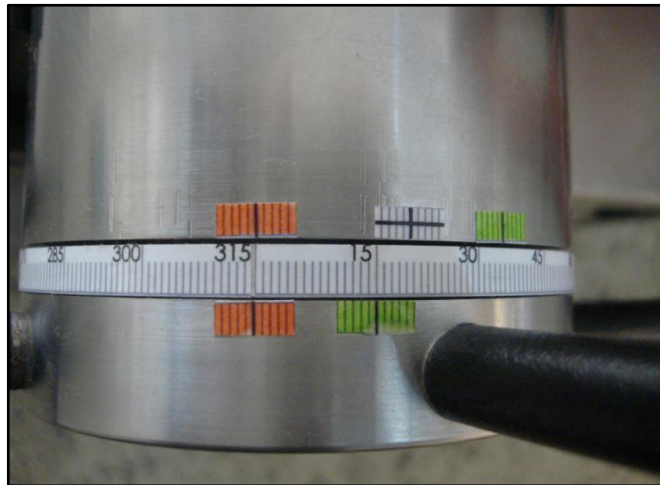
Fuente: Los Autores

7.2.2. Operación del prototipo de bomba de desplazamiento positivo en el banco de pruebas de integridad en tubería

La operación del prototipo de bomba es planteada en tres etapas que consiste en el llenado, purga y presurización del sistema en una prueba:

- Llenado del prototipo de bomba:
 - ✓ Llenar el tanque de almacenamiento del sistema de succión de la bomba, con la precaución de usar agua libre de impurezas o con solventes disueltos.
 - ✓ Teniendo totalmente abierta la válvula de aguja presente en la línea de descarga del sistema, se debe girar el elemento transmisor del torque del prototipo de bomba (Palancas para Torque) en sentido opuesto a las manecillas del reloj hasta encontrar que el sistema se bloquea, coincidiendo las dos franjas naranjas que indican el final de la carrera del pistón. Esto con el fin de liberar el aire presente en la Cámara de Bombeo y garantizar que el proceso de succión llene casi por completo el volumen disponible en la Cámara de Bombeo.

Figura 282. Final de la carrera del Pistón

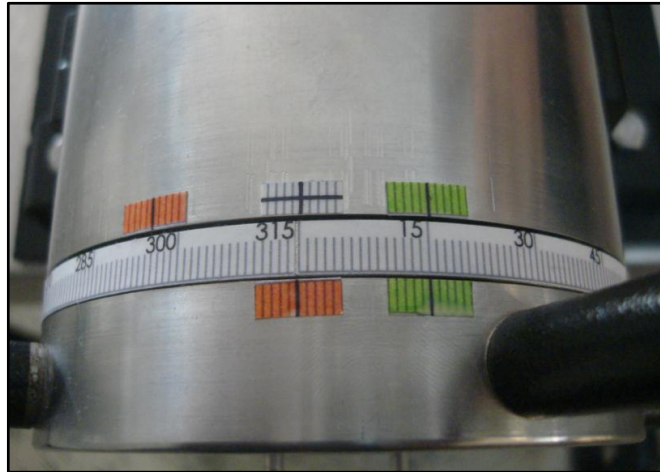


Fuente: Los Autores

- ✓ Se procede a cerrar completamente la válvula de aguja que se encuentra en la línea de descarga de la bomba, para dar inicio al proceso de succión del prototipo de bomba girando el elemento transmisor del torque en sentido de las

manecillas del reloj hasta encontrar que el sistema se bloquea, coincidiendo las dos franjas verdes que indican el inicio de la carrera del pistón.

Figura 283. Inicio de la carrera del Pistón



Fuente: Los Autores

- Purgado del sistema:
 - ✓ Se debe ajustar un tapón 1/8 OD en la salida para la línea que llega a la sección de prueba ubicada en el manifold.
 - ✓ Se proceda a abrir completamente la válvula de aguja que se encuentra en la línea de descarga del sistema para dar inicio al proceso de purgado del sistema.
 - ✓ Se procede a girar el elemento transmisor del torque en el prototipo de bomba en sentido opuesto a las manecillas del reloj, hasta alcanzar una presión de 500 psi dejando estabilizar la presión en el sistema aproximadamente durante 5 minutos.
 - ✓ Se procede a abrir lentamente el tapón roscado en el manifold solo hasta que se produzca un goteo lento en el racor, dejando salir el aire atrapado en la línea de descarga de la tubería. Por último ajustar de nuevo el tapón para finalizar el proceso de purgado del prototipo de bomba.

Los anteriores pasos se deben repetir hasta garantizar que el aire atrapado aún el sistema es liberado por completo.

- Presurización del sistema:

- ✓ Previo a dar inicio a la presurización del sistema se debe garantizar que el prototipo de bomba se encuentra en el inicio de la carrera del pistón (coincidiendo las dos franjas verdes).
- ✓ Se procede a retirar el tapón dispuesto en el manifold, para comunicar el racor con una línea que lo conecta a la sección de prueba.
- ✓ Se sugiere haber efectuado el llenado de la sección de prueba con el fin que el volumen disponible en el prototipo de bomba cumpla con la función de elevar la presión en la sección de prueba.
- ✓ Verificar que la válvula de aguja presente en la línea de descarga del prototipo de bomba se encuentre totalmente abierta.
- ✓ Para elevar la presión en el sistema se debe girar el elemento transmisor del torque del prototipo de bomba en sentido opuesto a las manecillas del reloj y de esta forma se dará inicio a la presurización del segmento de prueba.

El prototipo de bomba cuenta con una cinta numerada de 315 particiones en el contador, donde cada una indica un desplazamiento de 0.0065 cc. El total de veces que puede girar el elemento transmisor del torque en una carrera del Pistón son 24 revoluciones.

Nota: En el caso en que el pistón llegue al final de su carrera y no se halla alcanzado la presión de prueba, se debe cerrar la válvula de aguja y efectuar nuevamente el llenado de la bomba, esto para que se mantenga la presión previamente alcanzada en el segmento de prueba. Antes de dar inicio nuevamente al proceso de presurización del sistema se debe girar el elemento transmisor del torque en sentido opuesto a las manecillas del reloj sin abrir la válvula de aguja,

con el fin de alcanzar algo de presión en la cámara de bombeo de manera que al abrir la válvula de aguja no se presente fluctuación en la lectura de presión.

7.3. MANTENIMIENTO DEL PROTOTIPO DE BOMBA

El diseño del prototipo de bomba de desplazamiento positivo fue planteado para obtener mínimo de piezas que permitieran un funcionamiento correcto, por tal razón resulta un dispositivo sencillo de mantener en operación y de fácil mantenimiento.

Para conseguir que el prototipo de bomba funcione correctamente, el siguiente mantenimiento de rutina es necesario:

7.3.1. Lubricación

7.3.1.1. Lubricación del interior de la camisa guía

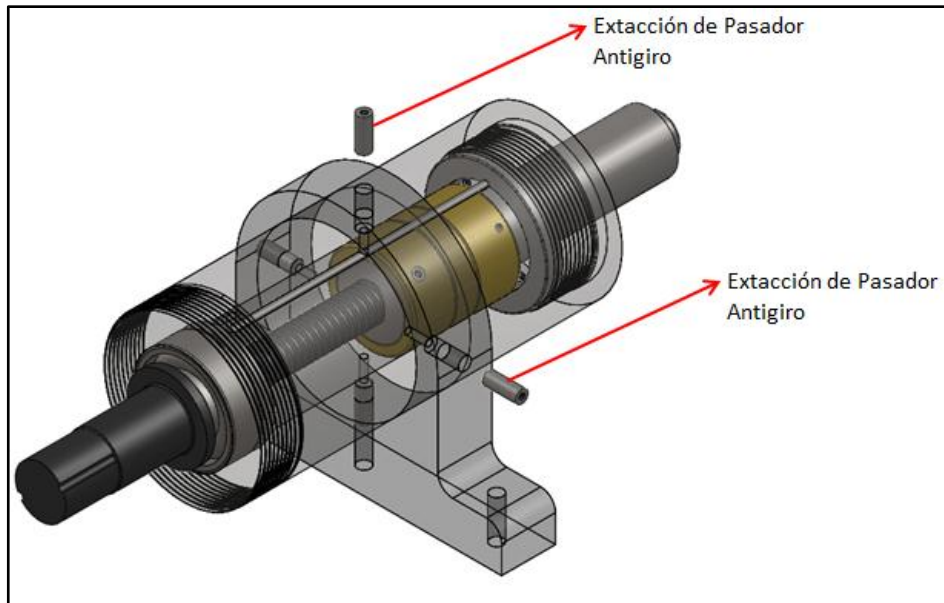
En caso de tener el montaje del prototipo de bomba en el banco de pruebas, la lubricación de la Camisa de Desgaste no se trata de un proceso complicado que requiera desensamblar el prototipo de bomba, simplemente se trata de extraer dos pasadores antigiro, uno ubicado en la parte superior de la base antigiro y uno lateral sin importar cual orientación se tome.

Después de esto se procede a introducir con una jeringa lubricante a través de los agujeros, aproximadamente un centímetro cúbico en cada uno (ver figura 284).

Como segundo paso se procede a girar el elemento transmisor del torque, buscando ubicar una de las ranuras centrales de la Camisa de Desgaste para inyectar igualmente un centímetro cúbico de aceite.

Se debe ubicar la siguiente ranura y repetir el proceso de lubricación descrito en este párrafo (ver figura 285).

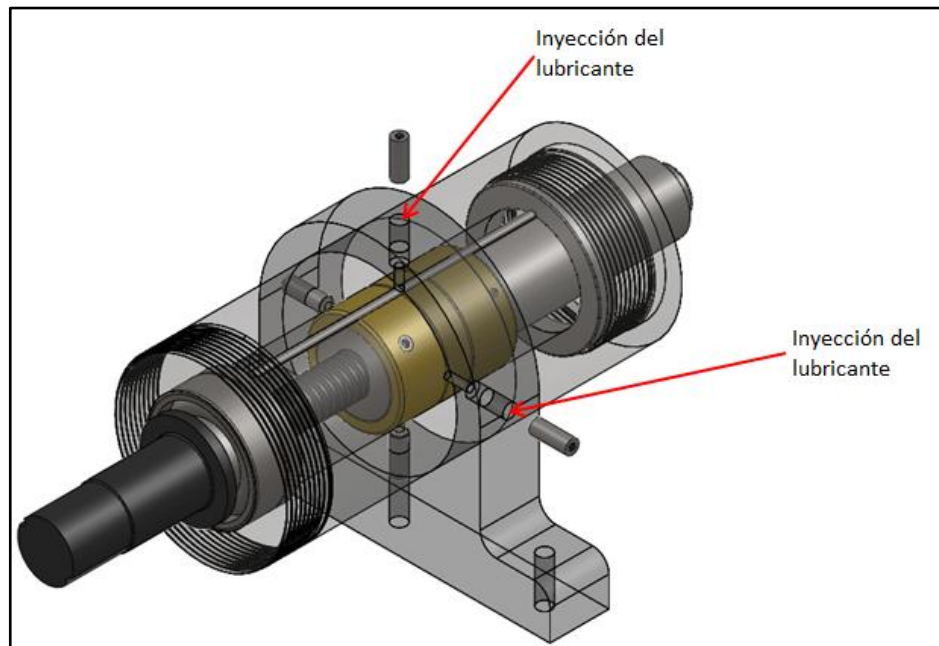
Figura 284. Primera etapa para la inyección de lubricante



Fuente: Los Autores

Es importante que el lubricante se resbale sobre las ranuras mencionadas

Figura 285. Segunda etapa para la inyección de lubricante

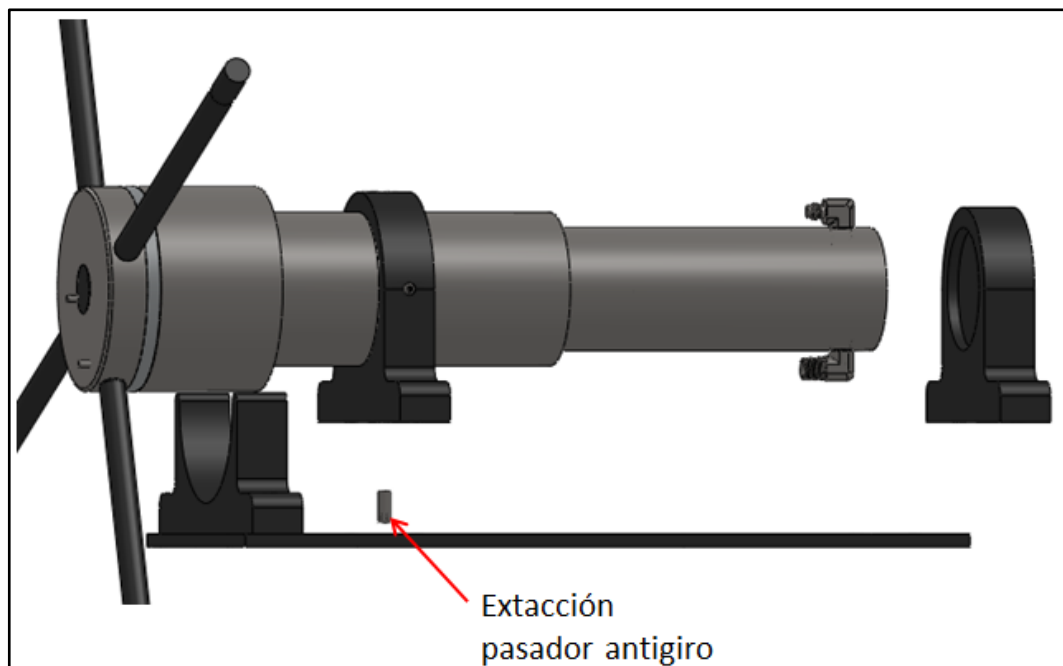


Fuente: Los Autores

Se recomienda que este proceso de lubricación se realice mensualmente en el caso de utilizar constantemente el prototipo de bomba, de lo contrario se debería realizar cada vez que se utilice el prototipo.

En cada ocasión en que se realice el proceso de lubricación de ese sistema se debe drenar el aceite presente en la Camisa Guía, liberando los tornillos que sujetan las bases de la bomba sin desmontar la Base Antigiro de la Camisa Guía, enseguida se procede a extraer el Pasador Antigiro ubicado en la parte inferior y de esta forma se puede drenar el lubricante, evitando la acumulación excesiva de éste en la parte inferior de la Camisa Guía.

Figura 286. Drenaje del prototipo de Bomba de desplazamiento positivo



Fuente: Los Autores

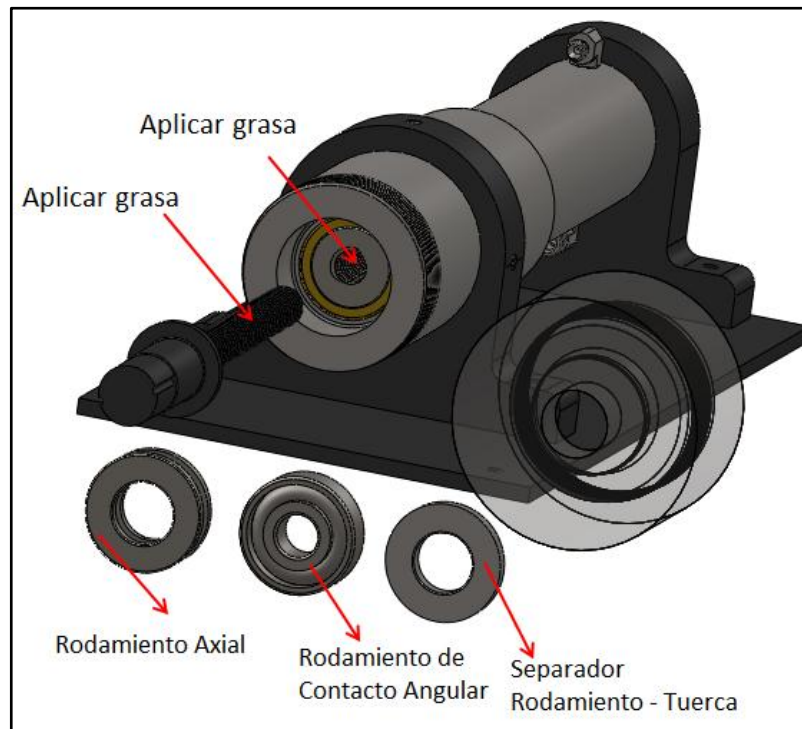
NOTA: Para este proceso de lubricación se utilizó el lubricante CASTROL SAE 10W30, pues genera una capa lubricante capaz de garantizar la lubricación adecuada para estas superficies en contacto (Latón – acero inoxidable AISI 304).

7.3.1.2. Lubricación Tornillo de Potencia – Tuerca, Rodamientos

Este proceso se efectúa retirando la cuña Tornillo – Volante para enseguida extraer el conjunto Volante – Palancas para Torque – Contador, además se sueltan los sujetadores de la base frontal para poder retirarla y desenroscar la Tapa de la bomba, seguido del tornillo de potencia. Con este procedimiento se pueden liberar los rodamientos ver Figura 285.

Para efectuar la lubricación de la hélice del Tornillo de Potencia y la Tuerca se utiliza un tipo de grasa que se llama “Lubry Moly_{EP-2}” del fabricante Lubrigras, debido a que es una grasa de textura suave elaborada con bases lubricantes de alto grado de refinación, mezcladas con jabón de litio y bisulfuro de molibdeno, contiene aditivos antiherrumbre, anticorrosión y tiene buena resistencia al agua.

Figura 287 Lubricación Tornillo de Potencia-Tuerca, Rodamientos

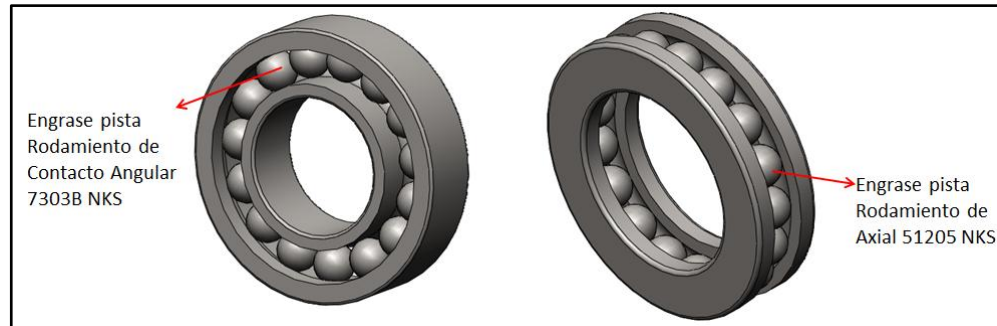


Fuente: Los Autores

Como es usada en equipos donde los periodos de relubricación no son frecuentes, por tanto se recomienda efectuar este proceso cada 8 meses.

Los rodamientos deben ser lubricados en las respectivas pistas verificando de no introducir residuos ó impurezas solidas, como se indica en la figura.

Figura 288. Lubricación Rodamientos



Fuente: Los Autores

7.3.2. Cambio de Sellos y guías de desgaste

Esta operación requiere llevar a cabo el desmontaje del prototipo de bomba en su totalidad realizando el procedimiento inverso al montaje expuesto en el numeral “7.1.”, efectuando el cambio de sellos y Guías como se explicó en este numeral, asegurándose de que los elementos reemplazados sean nuevos y estén en buenas condiciones.

En caso de la guía flexible “606T-025” se cuenta con un tramo de un metro de longitud, que se debe cortar en la medida apropiada que cubra la superficie cilíndrica de la ranura del Pistón.

Se sugiere efectuar un mantenimiento correctivo en el momento de presentarse una caída brusca de presión en el sistema, si ya se ha descartado que no se presentan fugas en ninguna parte del sistema de presurización, por ende se presume que el sello no esta realizando la estanqueidad, y se refleja igualmente al disminuir el torque en el instante de presurizar el sistema.

7.3.3. Ensamble de accesorios let-lok

En caso de requerirse del remplazo de un accesorio de instrumentación en el prototipo de bomba de desplazamiento positivo o en determinada sección del banco de pruebas, es necesario seguir las recomendaciones planteadas en el manual del fabricante HAMLET, pues esto asegura el funcionamiento correcto de los accesorios.

La siguiente figura muestra cada uno de los pasos a seguir en el ensamble de los accesorios LET-LOK a la tubería tipo “OD”.

Figura 289. Instalación de Tubing, LET-LOK

Los accesorios LET-LOK® son suministrados, ensamblados y ajustados manualmente. Desmontarlos antes de su uso puede permitir el ingreso de suciedad y otras partículas.



Inserte el tubo en el accesorio LET-LOK®
Compruebe que el tubo se quede firmemente en el hombro del accesorio y que la tuerca este ajustada manualmente. En este punto se recomienda que una marca sea dibujada en la hexagonal de la tuerca, extendiéndose hasta el cuerpo del accesorio. Esta marca servirá como un indicador del punto de partida y un adecuado punto de tere.





Ajuste la tuerca
Se requiere 1-1/4 de giro de la tuerca para 1/4" (6 mm) y superior (ver fig. A). Se requiere 3/4" de giro de la tuerca 3/16" (4 mm) y menor (ver fig. B).

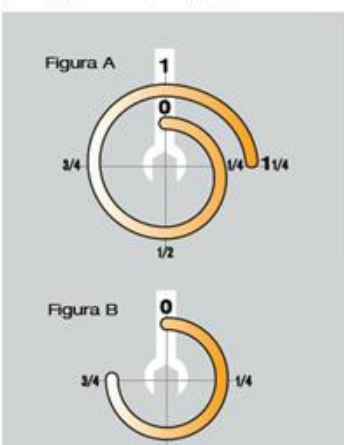


Figura A
1
0
1/4 1/4 1/2
3/4

Figura B
0
3/4 1/4

INSTRUCCIONES DE REENSAMBLE
Las conexiones LET-LOK® pueden ser desconectadas y reconstruidas en varias ocasiones, sin pérdida del cierre de fuga.

1. Antes de desconectar, marque la posición de la tuerca en relación con el cuerpo del accesorio.
2. Para ensamblar de nuevo, utilice una herramienta para ajustar la tuerca hasta su posición original.
3. Ajuste ligeramente con una llave hasta que se sienta un ligero aumento en el momento de torsión.

CORTE DE TUBO
Se pueden utilizar dos métodos diferentes:

1. Un cortador de tubo
2. Una Sierra para metal

Fuente: Catálogo HAMMLET

NOTA: Se cuenta actualmente con un repuesto para el sello y la guía de desgaste “606-112-050” además de un tramo de guía flexible “606T-025” mencionado

anteriormente. Los repuestos pueden ser solicitados a la empresa “AMM Distribuciones Ltda.” ubicada en Cali. Teléfono: 883 14 37.

8. APLICACIÓN DEL PROTOTIPO DE BOMBA MANUAL DE DESPLAZAMIENTO POSITIVO EN UN BANCO DE PRUEBAS DE INTEGRIDAD EN TUBERÍA PARA EL TRANSPORTE DE HIDROCARBUROS, TOMANDO COMO REFERENCIA LA NORMA API RP1110

Los sistemas de tubería son puestos a pruebas de presión con el fin de demostrar su servicio bajo condiciones de operación. Las pruebas deben ser conducidas antes de colocar las tuberías en una nueva instalación de servicios; la validación histórica de las condiciones de operación son parte de un proceso de valoración integral, para la verificación de las tuberías antes de retornar al servicio y después de comenzar con el servicio, igualmente se establece para las tuberías la habilidad para modificar parámetros tales como altas presiones de operación o transporte de diferentes productos.

El test de presión puede ser ejecutado por las siguientes razones:

- Detectar y eliminar anomalías dependientes del tiempo en un segmento de tubería. Esto puede llevarse a cabo para maximizar las razones entre la presión de prueba y el límite de presión de operación de las tuberías. Una alta relación de la presión de prueba (razón de cambio) podría incrementar el intervalo entre las garantías integrales de las pruebas de presión para las tuberías cuyas anomalías son dependientes del tiempo.
- Detectar y eliminar anomalías estables y verificar la integridad estructural de un segmento de tubería. Esto puede ser comprobado por un muestreo del segmento de tubería a una presión más alta que el límite de presión de operación.
- Establecer el límite de presión de operación de un segmento de tubería.

- Verificar la integridad de una tubería antes de ser puesta en servicio y después de su inicio.
- Verificar la integridad de una tubería cuando esta cambia de servicio.
- Verificar que un segmento de tubería no presente evidencia de fuga.

Lo mencionado anteriormente y el procedimiento para llevar a cabo la aplicación de una prueba de integridad en tubería se rige bajo los estándares de la norma API RP1110 (Pruebas de Presión de Tuberías de Acero para el Transporte de Gas, Gas Petróleo, Líquidos Peligrosos, Líquidos Altamente Volátiles o Dióxido de Carbono).

8.1. PARÁMETROS PARA LA PRUEBA DE INTEGRIDAD EN TUBERÍA SUGERIDOS BAJO LA NORMA API RP1110

8.1.1. Categorías de defectos y amenazas

API estándar 1160 y ASME B31.8S han identificado los defectos y amenazas que se pueden valorar durante el transcurso de una prueba de presión. Los cuales están asociados con corrosión SCC, manufactura, materiales y construcción, donde el procedimiento de la prueba de presión deberá estar diseñado para una amenaza en específico, el tipo y tamaño de cualquier daño anticipado.

- Las amenazas de corrosión interna y externa son típicamente controladas a través de ensayos adecuados como pueden ser pruebas de picadura, pruebas de esfuerzos y/o prueba de fugas, con una adecuada relación de la presión de prueba que establece el intervalo de reevaluación deseado. El replanteamiento del intervalo es una función del espesor de la pared de la tubería, la relación de la presión de prueba y la rata de corrosión estimada.

- Las amenazas de rotura por esfuerzos de corrosión (SCC) son típicamente evaluadas a través de ensayos adecuados como pruebas de picadura y/o pruebas de esfuerzo con una apropiada relación de la presión de prueba, las cuales darán los intervalos de reevaluación deseados. El intervalo de reevaluación es una función del espesor de la pared de la tubería el máximo tamaño de las grietas y la rata estimada del crecimiento de grietas.
- Amenazas de manufactura, tales como la fatiga susceptible a los defectos de costura que crece debido a los ciclos de presión son normalmente evaluados con el uso de una adecuada prueba de picadura y/o una prueba de esfuerzos con una apropiada relación de la presión de prueba las cuales darán los intervalos de reevaluación deseados. El intervalo de reevaluación es una función del espesor de la pared de la tubería el máximo tamaño de las grietas y la rata estimada del crecimiento de grietas y los ciclos de operación de presión.
- Amenazas de materiales y construcción son normalmente evaluadas con el uso de una prueba de picadura y/o una prueba de esfuerzos. Estas son independientes del tiempo o son amenazas estables que no requieren la reevaluación o revaloración para establecer su integridad, siempre que las condiciones específicas que podrían afectar negativamente la manufactura o las amenazas relacionadas con la construcción no se presenten más adelante en el servicio.

8.1.2. Seguridad

El operador tendrá que considerar los siguientes ítems de seguridad cuando planee y conduzca la prueba de presión:

- Hacer un esquema de las precauciones de seguridad y entregarlo al personal que se encargara de realizar la prueba (permisos de trabajo en caliente,

entrada a espacios confinados, equipo de protección personal y procedimientos de bloqueo eléctrico y señalización de seguridad, etc.).

- Valoración de conductas peligrosas y reuniones de seguridad.
- Requerir que todo el personal que conduzca una prueba hidrostática cumpla con la normativa local, estatal, federal del medio ambiente y que con los estándares mínimos de seguridad.
- Identificar las precauciones y procedimientos para minimizar los riesgos públicos y ambientales, especialmente cuando sea usa un medio de prueba diferente del agua durante la prueba hidrostática y durante la extracción de esta.
- Considerar las medidas necesarias para contener temporalmente las tuberías y las mangueras usadas durante el llenado de la línea con el medio de prueba, durante la prueba de presión y durante la extracción del medio de prueba.
- Considerar las medidas adicionales que respondan a posibles fallas en las pruebas.

8.1.3. Condiciones de operación de la tubería

El operador deberá considerar las siguientes condiciones de operación de la tubería:

- El actual y futuro grado estático de una línea hidráulica para las tuberías que transportan líquidos peligrosos o dióxido de carbón.
- El perfil de la presión máxima durante sobrepresiones causadas por transporte líquidos peligrosos o dióxido de carbón en las tuberías.

- Los más bajos y más altos requerimientos del límite de operación de presión dentro de la sección de prueba.
- La mayor cantidad de tiempo que la sección de prueba puede permanecer fuera de servicio durante el periodo de muestreo.

8.2. CLASES DE PRUEBAS HIDROSTÁTICAS

Hay tres tipos básicos de pruebas de presión. Los cuales serán desarrollados separadamente o de forma combinada en un orden determinado según la integridad de la tubería y/o el campo de aplicación de la compañía, de forma regulada o con las normas requeridas. Los tres tipos de pruebas de presión se diferencian por sus respectivos propósitos y la relación de la presión de prueba. El operador deberá determinar cual es la prueba o las pruebas apropiadas basadas en el propósito a alcanzar por el ensayo. Una breve descripción de cada tipo de pruebas se presente a continuación:

8.2.1. Prueba de picadura

Una prueba de picadura es usada para verificar la integridad estructural de las tuberías con anomalías dependientes del tiempo. Para las pruebas de picadura, la razón de la presión de prueba es normalmente mayor a 1.25. La duración de una prueba de picadura es normalmente larga, de cinco minutos como mínimo a una hora con el fin de minimizar la ampliación de las anomalías sub-críticas, las cuales son demasiado pequeñas para fallar durante la prueba. La duración de las pruebas de picadura deberá ser lo suficientemente larga para permitir que cualquier oscilación momentánea en el fluido durante la prueba por el proceso de presurización de estabilice. Una prueba de picadura podrá considerarse como exitosa si no ocurren rupturas en la tubería como parte del criterio de aceptación establecido.

8.2.2. Pruebas de esfuerzo

Una prueba de esfuerzos es usada para establecer el límite de presión de operación de un segmento de tubería. Normalmente, la presión de prueba tiene una relación de presión de 1.25 y la duración de cuatro horas o más, pero estos valores serán diferentes dependiendo de las normas que se le apliquen y/o las regulaciones. Las pruebas de esfuerzos son determinadas exitosas si no ocurren rupturas o fugas en la tubería como criterio establecido de aceptación.

8.2.3. Prueba de fugas

Una prueba de fugas es usada para determinar que un segmento de tubería no presente evidencia de escape o filtración. Normalmente la relación de la presión de prueba es menor de 1.25 y la duración es de dos horas o más, pero estos valores pueden ser diferentes dependiendo de la situación, los procesos de la compañía, y las normas y regulaciones aplicables. En general, la duración de una prueba de fugas deberá ser lo suficientemente larga para que el operador determine si la prueba cumple con los criterios de aceptación establecidos. Las pruebas de fuga son determinadas como exitosas si todas las variaciones de presión pueden ser explicadas como parte del criterio de aceptación establecido. Es importante denotar que bajo ciertas condiciones las pruebas de fuga sobre tuberías de gas, pueden ser realizadas bajo la vigilancia de la línea con un equipamiento de ionización de flama u otro equipamiento de detección de fugas, después de que la línea ha sido presurizada con gas.

8.3. PLANEACIÓN DE LA PRUEBA HIDROSTÁTICA

La tubería de línea para producción de petróleo y gas se manufactura generalmente en diámetros que oscilan entre 1 1/2 in hasta 24 in, con una presión de operación que va aproximadamente de los 225 psi hasta los 2000 psi dependiendo del tamaño y temperatura de operación. Este tipo de tubería se utiliza para transportar materiales altamente corrosivos desde la estación central de la recolección del campo petrolero hasta los pozos de inyección.

Adicionalmente se utilizan las líneas de flujo de gas y petróleos de baja y mediana presión donde se encuentra fluidos corrosivos.

De acuerdo a la normatividad para el diseño y manufactura de tuberías para el transporte de petróleo como la norma API 5L (especificación para tuberías de conducción), la norma API 5LC (especificación para líneas de conducción resistentes a la corrosión) o la norma ASME B31.4 (tuberías de transporte de hidrocarburos líquidos y otros líquidos), se ha planteado la ejecución de una prueba de integridad de tipo “PRUEBA DE FUGAS” en un segmento de tubería API 5L. Sin embargo el costo de las bridas y el tramo de tubería para realizar este tipo de ensayo es demasiado elevado superando los \$2'000.000 pesos Colombianos.

Se acudió a la entidad “Corporación para la Investigación de la Corrosión (CIC)”, con el fin de proponer la ejecución de una prueba de integridad en algún tipo de tubería, sin contar en el momento con un segmento para poder realizar la prueba. Por otro lado tenían la necesidad de realizar una prueba de integridad en un dispositivo “AUTOCLAVE” utilizado para realizar estudios de corrosión que simulan el comportamiento de las tuberías al carbón en líneas de pozo. Se propuso entonces adaptar una prueba hidrostática en tubería para el transporte de hidrocarburos en el dispositivo “AUTOCLAVE”, simulando el procedimiento que se debe seguir bajo la norma API RP1110.

Recopilando la información para las tuberías de transporte de hidrocarburos que se ofrecen en el mercado, los fabricantes manejan una presión de prueba de máximo 3000 psi para los grados X42, X46, X52 y X56 que dependen del tipo de espesor (STD, Schedule 40 y XS, Schedule 80), siguiendo la norma API 5L.

Figura 290, Dimensiones y pruebas de presión para Tubería API 5L

DIMENSIONES Y PRUEBAS DE PRESIÓN PARA TUBERÍA (5LX) CON EXTREMOS LISOS					
MEDIDA	PESO Lb. / ft.	GRADO X42	GRADO X46	GRADO X52	GRADO X56
2 3/8 STD	3.65	3000	3000	3000	3000
2 3/8 XS	5.02	3000	3000	3000	3000
2 7/8	4.53	2730	3000	3000	3000
2 7/8 STD	5.79	3000	3000	3000	3000
3 1/2	6.11	2480	2710	3000	3000
3 1/2 STD	7.58	3000	3000	3000	3000
4 1/2	8.66	2110	2310	2610	2810
4 1/2 STD	10.79	2650	2910	3000	3000

Fuente: Catálogo TUNA (Tubería Nacional)

Teniendo en cuenta lo anterior y las condiciones críticas de operación del dispositivo ($P_{\text{máx}} = 5000 \text{ psi @ } T 200 \text{ }^{\circ}\text{C}$), además de la capacidad de operación máxima que alcanza el banco de pruebas (5600 psi) el cual es limitado por la presión de pre-apertura de la válvula de seguridad; se propuso asumir una presión de operación de 4000 psi en el dispositivo, abarcando el rango de presión que se da en las tuberías de transporte de hidrocarburos ofrecidas en el mercado y por otra parte el procedimiento resulta ser mas exigente que la prueba estándar para el dispositivo. Se garantiza de esta forma que el banco de pruebas hidrostáticas es apto para realizar pruebas de integridad a cualquier tipo de tubería para el transporte de hidrocarburos que se rija bajo la norma API 5L.

8.4. EJECUCIÓN DE LA PRUEBA HIDROSTÁTICA

El procedimiento para ejecutar la “Prueba de Fugas” se basó en las normas de ingeniería de oleoductos de ECOPETROL para pruebas hidrostáticas como como se muestra a continuación:

8.4.1. Programación de la “Prueba de Fugas”

8.4.1.1. Requisitos previos

- Para el agua se debe elegir la fuente adecuada de aprovisionamiento, y en caso de ser necesario el permiso de vertimiento de la misma una vez se halla terminado la prueba hidrostática, en caso de haberse utilizado algún tipo de inhibidor de corrosión y secuestrante de oxígeno y agregados durante la prueba. El inhibidor debe ser biodegradable de acción biocida y soluble en el agua en las dosis indicadas por el fabricante.
- Antes de iniciar cualquier operación de prueba deben instalarse todos los accesorios y conexiones a lo largo del tramo de la línea que va a probarse. Todos los instrumentos de registro deben estar calibrados y certificados.
- Los manómetros utilizados deben estar calibrados para que la presión indicada de la prueba no sea menor que el 25% ni mayor que el 75% de la lectura máxima.

8.4.1.2. Limpieza interior y calibración de la tubería

- El procedimiento debe considerar la instalación de un múltiple receptor de raspadores en el extremo opuesto al punto de inyección y de un múltiple de envío en el extremo del plano para la inyección del agua, desde el cual se envía un raspador de limpieza a través de la tubería empujado por agua o aire comprimido.

Figura 291. AUTOCLAVE



Fuente: Los Autores

8.4.1.3. Llenado y purga del aire

– Como el dispositivo AUTOCLAVE para la simulación de la prueba es cerrado en un extremo y asemeja un recipiente de confinamiento cilíndrico, este proceso se realiza ejecutando el llenado previo al cierre, incluyendo la disposición de una válvula de aguja para el venteo.

Figura 292. Ensamble de Componentes Para la Prueba de Integridad



Fuente: Los Autores

- En instalaciones ubicadas en campo se debe instalar un medidor en el lado de succión de la bomba de llenado con el fin de determinar el tiempo aproximado requerido para llenar cada sección de prueba y un proporcionador con su bomba de descarga con el fin de inyectar el inhibidor de corrosión en el agua de prueba. Durante el llenado la columna de agua debe ir precedida de raspadores de desplazamiento para eliminar bolsas de aire y hacer una limpieza interna adicional.

Figura 293. Purgado de la prueba de integridad

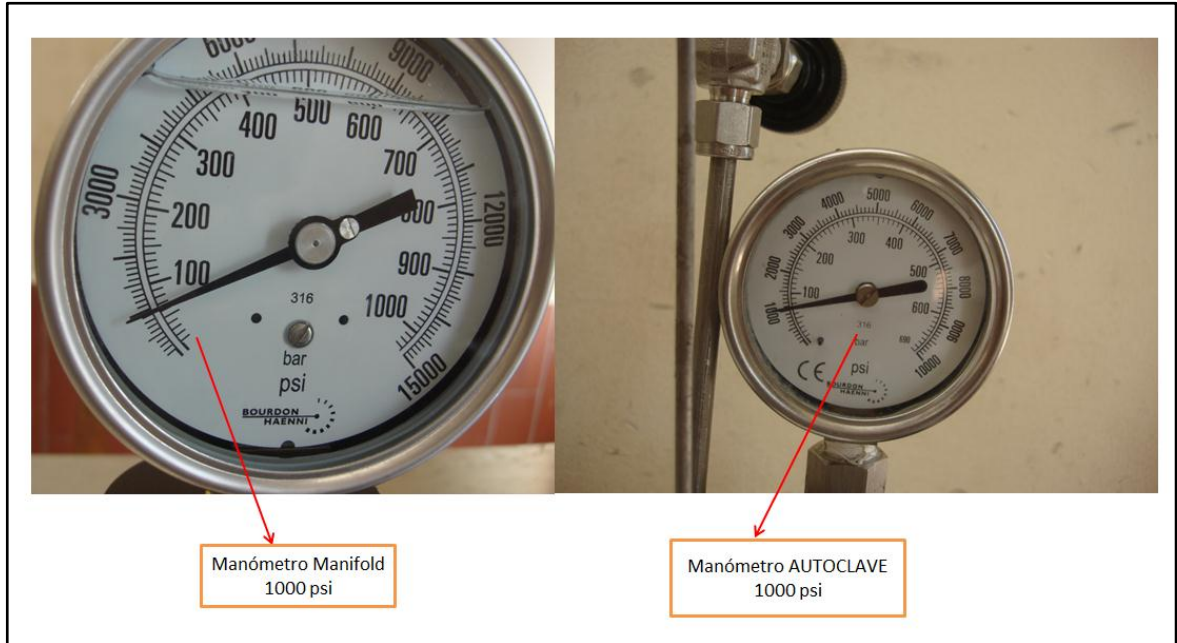


Fuente: Los Autores

8.4.1.4. Presurización

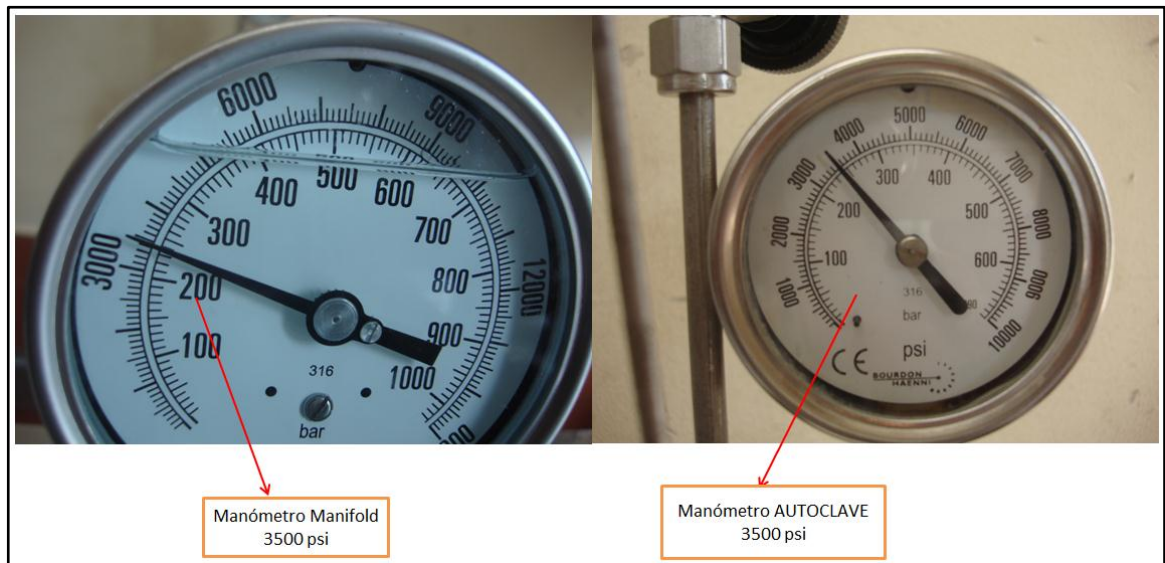
– Cuando la sección de prueba esté lista, debe conectarse la bomba de presión a la instalación, bombeando hasta alcanzar una presión de 0 a 1000 psi aproximadamente y permitiendo que dicha presión se mantenga a ese nivel durante un mínimo de 30 minutos, con el propósito de probar que no existen fugas mayores. Se continúa comprimiendo hasta alcanzar el 70% de la presión de prueba (3500 psi), la que se debe mantener 30 minutos hasta que se estabilicen presiones y temperaturas.

Figura 294. Presión 1000 psi



Fuente: los Autores

Figura 295. Presión 3500 psi



Fuente: Los Autores

- Posteriormente se realizan incrementos de 100 psi cada minuto, los cuales deben ser perfectamente leídos en la escala del manómetro y registrados, hasta

alcanzar la presión de prueba (5000 psi), la cual debe mantenerse por 30 minutos; posteriormente se reduce la presión 50 psi para realizar la prueba de hermeticidad con el propósito de prevenir aumentos de presión por encima del rango de presión hidrostática por efectos de aumento en la temperatura de la tubería.

Figura 296. Presión 5000 psi



Fuente: Los Autores

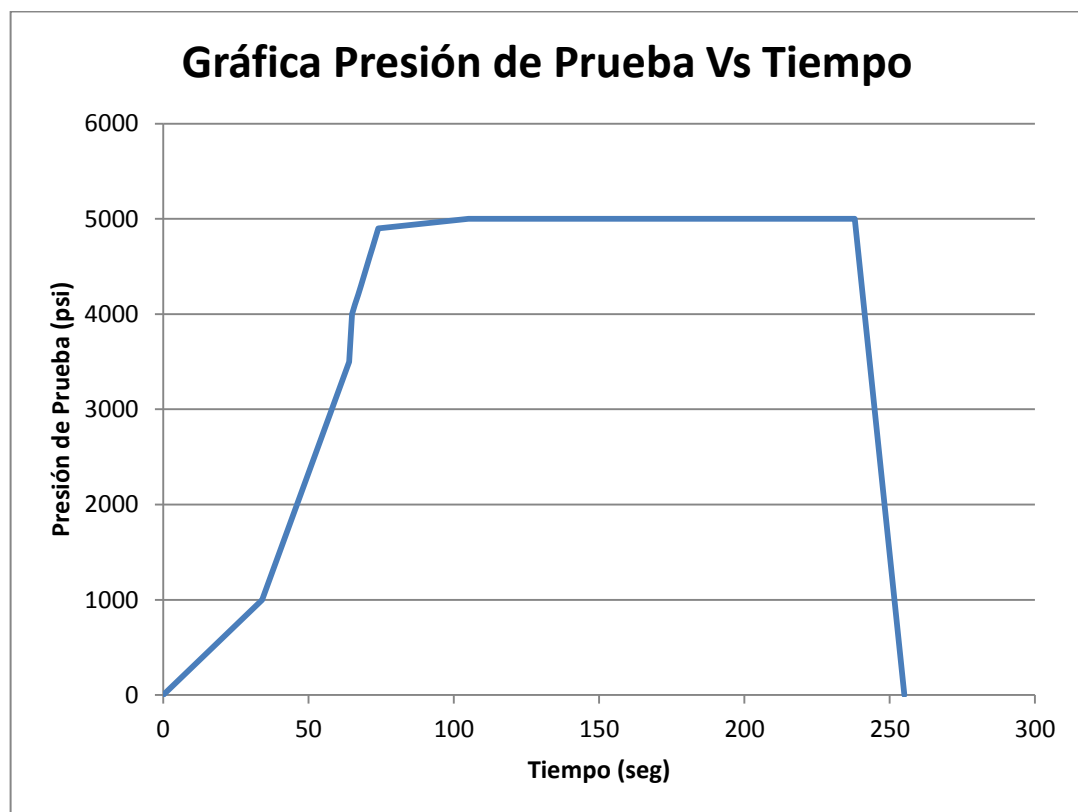
- Una vez la presión de prueba halla sido alcanzada se aísla la bomba de presurización cerrando la válvula de aguja ubicada sobre la línea de descarga de la bomba.
- Al iniciarse el periodo inicial de pruebas debe registrase la presión, manteniendo la presión de prueba durante un periodo mínimo de dos horas, el cual debe ampliarse de ser necesario.
- Debe tomarse la lectura de presión y temperatura cada hora.

- La prueba es satisfactoria si no sobreviene una caída de presión durante el periodo de prueba y si los cambios de presión que se llegan a presentar pueden ser correlacionados satisfactoriamente con las variaciones de temperatura.
- Cumplido el tiempo requerido para la prueba se realiza la descarga de la presión del sistema abriendo la válvula de aguja dispuesta como venteo.

8.4.2. Resultados obtenidos de la prueba

Se realizó una gráfica “Presión de Servicio Vs Tiempo” con el fin de visualizar el proceso llevado a cabo durante el desarrollo de la prueba de integridad.

Figura 297. Gráfica Presión de Prueba Vs Tiempo

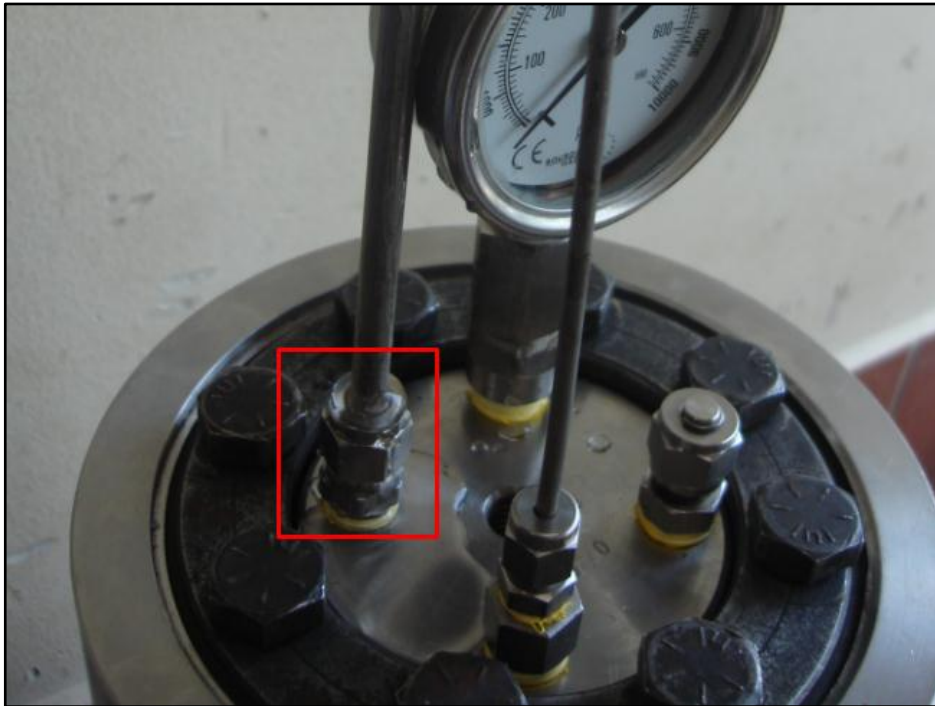


Fuente: Los Autores

8.4.3. Análisis de resultados

- Al dar inicio a la etapa de presurización de la prueba, se presentó en la primera etapa (0 -1000 psi) una caída de presión notoria, consecuencia de una fuga en el racor que conecta la válvula de aguja para el venteo. Se realizó entonces el ajuste necesario para dar inicio nuevamente a la prueba.

Figura 298. Fuga presente en la etapa inicial de la prueba de integridad



Fuente: Los Autores

- Según el criterio establecido por la norma API RP1110 al no presentarse de nuevo una caída de presión o falla estructural en el elemento de prueba, se puede considerar la “Prueba de Fugas” como exitosa, concluyendo que el dispositivo es apto para continuar en servicio.

PRUEBA DE FUGAS EN TUBERÍA PARA EL TRANSPORTE DE HIDROCARBUROS

FECHA:	26/09/2012
SECCIÓN A EVALUAR:	AUTOCLAVE
PRESIÓN DE OPERACIÓN:	4000 psi
RATING:	5000 psi @ 200 °C

HORA DE INICIO:	01:00 p.m.
HORA FINAL:	05:43 p.m.
PRESIÓN DE PRUEBA:	5000 psi
LONGITUD DEL TRAMO:	50 cm

ACCESORIOS DE PRUEBA: Manómetro BOURDON HAENNI en acero inoxidable 316, con rango de presión de 0 - 10000 psi; Manómetro BOURDON HAENNI en acero inoxidable 316, con rango de presión de 0 - 15000 psi; Termómetro marca WKA con rango de 0 - 300 °C; Válvula de aguja marca Swagelok con capacidad de presión hasta 5000 psi; Un conector recto 1/4 NPT x 1/4 OD marca HAMLET; Un tapón 1/4 OD marca HAMLET; Una reducción 1/4 NPT x 1/8 NPT marca HAMLET; un conector recto 1/8 NPT x 1/8 OD.

ITEM	HORA DE OBSERVACIÓN	TIEMPO (Mín)	PRESIÓN 1 (psi)	PRESIÓN 2 (psi)	TEMP. AGUA °C	OBSERVACIONES
1	01:35	0	0 - 1000	0 - 1000	25	FUGA EN RACOR
2	01:45	0	0 - 1000	0 - 1000	25	
3	02:19	33	1000-3500	1000 - 3500	25	
4	02:49	63	3500-4000	3500 - 4000	25	
5	02:50	64	4000-4100	4000 - 4100	25	
6	02:51	65	4100-4200	4100 - 4200	25	
7	02:52	66	4200-4300	4200 - 4300	25	
8	02:53	67	4300-4400	4300 - 4400	25	
9	02:54	68	4400-4500	4400 - 4500	25	
10	02:55	69	4500-4600	4500 - 4600	25	
11	02:56	70	4600-4700	4600 - 4700	25	
12	02:57	71	4700-4800	4700 - 4800	25	AL ALCANZAR LOS 5000 psi NO SE REDUJO LA PRESIÓN A 4950 psi
13	02:58	72	4800-4900	4800 - 4900	25	
14	02:59	73	4900-5000	4900 - 5000	25	
15	03:30	104	5000	5000	25	
16	03:31	105	5000-4950	5000 - 4950	25	
17	05:43	237	4950	4950	25	

OBSERVACIONES GENERALES: Despresurizar el sistema requiere de abrir la válvula de aguja para el venteo, de forma lenta para evitar una caída muy brusca en la presión y evitar lesiones en el operario.

RESULTADO DE LA PRUEBA

ACEPTADA

X

RECHAZADA

CRITERIO DE ACEPTACIÓN NORMA API RP1110

9. PRESUPUESTO

Se relaciona a continuación la descripción y costos de los materiales y elementos usados en los procesos de fabricación del prototipo de bomba de desplazamiento positivo y adecuación del banco para pruebas de integridad para tubería de transporte de hidrocarburos.

A continuación se relacionan los costos correspondientes a los materiales que formaron parte del proceso de manufactura del prototipo de bomba de desplazamiento positivo.

Tabla 11. Gastos construcción Prototipo de Bomba de desplazamiento Positivo

ITEM	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL
1	CORTE REDONDO S-4340 CALIB/TORN 57.15 X 70.00 mm	1	\$ 12.789	\$ 12.789
2	CORTE REDONDO S-4340 CALIB/TORN 57.15 X 100.00 mm	1	\$ 22.794	\$ 22.794
3	CORTE REDONDO S-304 CALIBRADO 38.10 X 150.00 mm	1	\$ 15.880	\$ 15.880
4	CORTE REDONDO S-4340 CALIB/TORN 57.15 X 90.00 mm	1	\$ 16.296	\$ 16.296
5	CORTE REDONDO BRONCE LATÓN NEGRO 50.80 X 180.00 mm	1	\$ 63.000	\$ 63.000
6	CORTE REDONDO S-304 CALIBRADO 3.18 X 6020 mm	1	\$ 5.234	\$ 5.234
7	CORTE REDONDO S-4340 CALIB/TORN 38.10 X 240.00 mm	1	\$ 15.138	\$ 15.138
8	CORTE REDONDO S-304 CALIBRADO 63.5 X 255.00 mm	1	\$ 66.962	\$ 66.962
9	CORTE REDONDO S-304 CALIBRADO 76.20 X 180.00 mm	1	\$ 75.992	\$ 75.992
10	CORTE REDONDO S-304 CALIBRADO 114.30 X 120.00 mm	1	\$ 114.921	\$ 114.921
11	CORTE REDONDO S-304 CALIBRADO 114.30 X 70.00 mm	1	\$ 68.208	\$ 68.208
12	CORTE REDONDO S-4140 CALIB/TORN 12.70 X 265.00 mm	4	\$ 2.320	\$ 9.280
13	CORTE REDONDO S-304 CALIBRADO 63.50 X 60.00 mm	1	\$ 18.166	\$ 18.166
14	CORTE REDONDO S-304 CALIBRADO	1	\$ 11.623	\$ 11.623

50.80 X 60.00 mm

15	CORTE LÁMINA 1045 NEGRO RECTANGULAR 38.10 X 83.00 X 186.00 mm	1	\$ 35.573	\$ 35.573
16	CORTE LÁMINA 1045 NEGRO RECTANGULAR 38.10 X 123.00 X 165.00 mm	1	\$ 45.922	\$ 45.922
17	CORTE LÁMINA 1045 NEGRO RECTANGULAR 38.10 X 115.00 X 150.00mm	1	\$ 39.296	\$ 39.296
18	RODAMIENTO NSK 7303B	1	\$ 10.005	\$ 10.005
19	RODAMIENTO NSK 51205	1	\$ 49.999	\$ 49.999
20	ALUMINIO REDONDO 5 1/2 IN X 60 mm	1	\$ 40.000	\$ 40.000
21	CORTE LÁMINA 1045 RECTANGULAR 6.35 X 186.00 X 366.00 mm	1	\$ 20.000	\$ 20.000
22	VEE-PACKING VS07503X082	3	\$ 32.016	\$ 96.048
23	1 m DE GUÍA FLEXIBLE 606T-025	1	\$ 73.225	\$ 73.225
24	GUÍA DE DESGASTE 606-112-050	2	\$ 15.660	\$ 31.320
25	AFILADO DE ESCARIADORES	2	\$ 10.000	\$ 20.000
26	INSERTO ROSCADO 266RG- 16AC01F080E 1135	2	\$ 76.676	\$ 153.352
27	INSERTO ROSCADO 266RG- 16VM01A002M 1135	2	\$ 55.680	\$ 111.360
28	INSERTO ROSCADO MB-07TH080AC-11R 1025	2	\$ 58.812	\$ 117.624
29	INSERTO TRONZADO M151.2-300-4E 235	2	\$ 31.668	\$ 63.336
30	BARRA DE MANDRINADO DE METAL DURO MB-E12-48-07R	1	\$ 662.708	\$ 662.708
31	BROCA IRWIN 16 mm HSS	1	\$ 60.000	\$ 60.000
32	BROCA 2.5 mm HSS CON RECUBRIMIENTO DE COBALTO	1	\$ 1.500	\$ 1.500
33	BROCA 3 mm HSS	1	\$ 2.000	\$ 2.000
34	BROCA 1/16 in HSS CON RECUBRIMIENTO DE COBALTO	1	\$ 700	\$ 700
35	BROCA 3/32 HSS CON RECUBRIMIENTO DE COBALTO	1	\$ 2.000	\$ 2.000
36	BROCA 5 mm IRWIN HSS	1	\$ 4.000	\$ 4.000
37	BROCA 6 mm HSS	1	\$ 5.000	\$ 5.000
38	BROCA 8.5 mm IRWIN HSS	1	\$ 8.000	\$ 8.000
39	BROCA 12 mm HSS	2	\$ 8.000	\$ 16.000
40	TORNILLOS PRISIONEROS M3	1	\$ 3.300	\$ 3.300
41	LLAVE BRISTOL 5 mm	1	\$ 6.000	\$ 6.000
42	LLAVE BRISTOL 2.5 mm	1	\$ 2.000	\$ 2.000
43	MACHOS PARA ROSCAR M3 X 0.5	3	\$ 5.000	\$ 15.000
44	MACHOS PARA ROSCAR M6 X 1	1	\$ 7.000	\$ 7.000
45	MACHO NPT 1/8 in	1	\$ 13.000	\$ 13.000
46	MACHO NPT 1/4 in	1	\$ 15.000	\$ 15.000

47	MACHO NPT 1/2 in	1	\$ 17.000	\$ 17.000
48	PINTURA ELECTROSTÁTICA BASES BOMBA	1	\$ 20.000	\$ 20.000
49	TRATAMIENTO TÉRMICO PROBETA	1	\$ 30.000	\$ 30.000
50	TRATAMIENTO TÉRMICO TORNILLO	1	\$ 20.000	\$ 20.000
51	TRATAMIENTO TÉRMICO DISPOSITIVO DE AGARRE	1	\$ 20.000	\$ 20.000
52	TORNILLERÍA DE SUJECCIÓN EN ACERO INOXIDABLE	1	\$ 15.000	\$ 15.000
53	RECTIFICACIÓN CÁMARA DE BOMBEO	1	\$ 60.000	\$ 60.000
54	RECTIFICACIÓN CAMISA GUÍA	1	\$ 60.000	\$ 60.000
55	CEPILLADO CAMISA GUÍA	1	\$ 20.000	\$ 20.000
56	GASTO DE PIEZAS AVERIADAS EN MECANIZADO (2 CÁMARA DE BOMBEO – 1 CAMISA DE DESGASTE)	/	\$ 213.149	\$ 213.149
			VALOR TOTAL	\$ 2'721.698

Fuente: Los Autores

A continuación se relacionan los costos correspondientes a la instrumentación que forma parte del banco de pruebas hidrostáticas para tubería de transporte de hidrocarburos. Del total presentado a continuación la Escuela de Ingeniería Mecánica aportó la suma de un millón quinientos mil pesos Colombianos (\$ 1'500.000) y el grupo de investigación DICBOT aportó la suma de setecientos mil pesos Colombianos (\$ 700.000), para un total de dos millones doscientos mil pesos Colombianos (\$ 2'200.000).

Tabla 12. Gastos instrumentación de alta presión

ITEM	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL
1	CONECTOR RECTO 1/4 NPT X 1/4 OD INOX	3	\$ 26.680	\$ 80.040
2	CONECTOR CODO 1/4 OD X 1/4 OD INOX	2	\$ 48.720	\$ 97.440
3	CONECTOR CODO 1/8 NPT X 1/4 OD INOX	1	\$ 41.064	\$ 41.064
4	CONECTOR CODO 1/8 NPT X 1/8 OD INOX	1	\$ 38.860	\$ 38.860
5	CONECTOR CODO 1/8 OD X 1/8 OD INOX	4	\$ 48.720	\$ 194.880
6	CONECTOR RECTO 1/8 NPT X 1/8 OD INOX	4	\$ 29.000	\$ 116.000
7	CONECTOR REDUCTOR 1/4 NPT X 1/8	2	\$ 27.260	\$ 54.520

	OD INOX			
8	TUBING 1/8 X 0.035 in INOX	1	\$ 76.560	\$ 76.560
9	VÁLVULA CHECK 1/4 NPT HEMBRA	2	\$ 147.900	\$ 295.800
10	MANÓMETRO DIAL 4 in INOX, ROSCA 1/2 NPT BOURDON HAENNI	1	\$ 301.600	\$ 301.600
11	VÁLVULA DE SEGURIDAD 6000 psi	1	\$ 600.000	\$ 600.000
12	TEE 1/8 OD X 1/8 OD X 1/8 OD	1	\$ 142.680	\$ 142.680
13	VÁLVULA AGUJA INOX HAMLET ROSCA 1/2 NPT	1	\$ 259.840	\$ 259.840
14	UNIÓN INOX ROSCA 1/2 NPT	1	\$ 3.596	\$ 3.596
15	CUPLA INOX ROSCADA 1/2 NPT X 2 in SCHEDULE 40	1	\$ 63.336	\$ 63.336
			VALOR TOTAL	\$ 2'366.216

Fuente: Los Autores

A continuación se relacionan los costos correspondientes a la construcción del banco de pruebas hidrostáticas para tubería de transporte de hidrocarburos y los accesorios que lo conforman.

Tabla 13. Gastos elementos sistema de llenado y estructura del banco de pruebas de integridad

ITEM	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL
1	ELECTROBOMBA 1/2 HP	1	\$ 69.900	\$ 69.900
2	TANQUE ACRÍLICO	1	\$ 43.000	\$ 43.000
3	NIVELADOR 1/4 in X 35 mm – TUERCAS HEXAGONAL	1	\$ 9.150	\$ 9.150
4	CORTE REDONDO S-1045 3 in X 120 mm	1	\$ 42.000	\$ 42.000
5	LÁMINA INOX K20	1	\$ 80.000	\$ 80.000
6	DOBLECES Y CORTES LÁMINA	1	\$ 20.000	\$ 20.000
7	CORDÓN DE SOLDADURA EN ARGÓN	1	\$ 120.000	\$ 120.000
8	LÁMINA INOX K20 ESTRUCTURA	1	\$ 100.000	\$ 100.000
9	PERFILES CUADRADOS 1 1/2 X 1 1/2 in K20 TRAMOS X 6 m	2	\$ 20.000	\$ 40.000
10	MANGUERAS FLEXIBLE DE ALTA PRESIÓN Y ACCESORIOS	1	\$ 80.000	\$ 80.000
11	TUBERÍA Y ACCESORIOS PVC	1	\$ 26.000	\$ 26.000
12	SOLDADURA Y CORTES DE PERFILES	1	\$ 70.000	\$ 70.000
			VALOR TOTAL	\$ 700.050

Fuente: Los Autores

A continuación se relacionan los costos correspondientes al desarrollo del proyecto de grado en la modalidad de diseño y construcción de un prototipo de bomba de desplazamiento positivo para aplicaciones de pruebas hidrostáticas en tuberías petroleras.

Tabla 14. Sumatoria de Gastos

GASTOS GENERALES	VALOR
PAPELERÍA (Memorias, cartas, fotocopias, carpetas, borradores, empastes, etc.)	\$ 150.000
BIBLIOGRAFÍA	\$ 100.000
TRANSPORTE	\$ 300.000
ASESORÍA DEL DIRECTOR ING. CARLOS BORRAS PINILLA	\$ 5'000.000
TRABAJO INTELECTUAL	\$ 3'000.000
SUBTOTAL	\$ 8'550.000
GASTOS CONSTRUCTIVOS	VALOR
CONSTRUCCIÓN DE PROTOTIPO DE BOMBA DE DESPLAZAMIENTO POSITIVO	\$ 2'721.698
ACCESORIOS DE INSTRUMENTACIÓN	\$ 2'366.216
CONSTRUCCIÓN BANCO DE PRUEBAS Y ACCESORIOS	\$ 700.050
SUBTOTAL	\$ 5'787.964
TOTAL	\$ 14'337.964

Fuente: Los Autores

10. RECOMENDACIONES

- Operar y mantener el prototipo de bomba de desplazamiento positivo como se ha planteado a lo largo del capítulo 7.
- En caso de requerirse operaciones superiores al límite establecido por la válvula de seguridad se debe adecuar la configuración del sistema de presurización del banco, excluyendo el trabajo de las válvulas check con capacidad de operación máxima de 6000 psi.
- En caso de adaptar el prototipo de bomba para trabajos superiores a los 6000 psi, se recomienda no superar el límite de diseño establecido para 10000 psi.
- Las válvulas de aguja no deben operarse a más de 8000 psi pues en las pruebas previas del prototipo, se presentaron fugas en el cuerpo de las mismas al sobrepasar este valor.
- Seguir los pasos indicados en el catálogo de HAMLET expuesto en el numeral 7.3.3. para el montaje de líneas de tubing y ajuste de accesorios. Se aclara que estos equipos de instrumentación son extremadamente delicados.
- Se entregaron aquellos accesorios que no fueron montados correspondientes al tramo de tubing que conecta al manifold con la sección de prueba y al tramo de manguera flexible con sus accesorios. Debido a que estos elementos se adaptan cuando se cuenta con el segmento de tubería a probar, de la forma como se indica en la descripción del banco, pues realizar su montaje sin disponer de un segmento de prueba podría llegar a dañar estos elementos.

- En caso de plantearse un rediseño de alguno de los elementos que integran el diseño del prototipo de bomba de desplazamiento positivo, se sugiere eliminar aristas cortantes con chaflanes o redondeos.
- El Pistón-Tapa del prototipo de bomba de desplazamiento positivo se manufacturó en acero AISI 4340 que por sus elementos aleantes cuenta con propiedades inoxidables, sin embargo en el momento en que se realice un mantenimiento correctivo para el sello y se llegue a presentar alguna condición de oxido, se recomienda aplicar algún anticorrosivo solo en la superficie que se encuentra en contacto directo con el agua, o contemplar su manufactura en Dura-Aluminio.
- El manifold con el que cuenta el banco está manufacturado en acero AISI 1045, se aclara que fue construido solo para la prueba de integridad que se hizo como validación del prototipo. Para posteriores pruebas se sugiere revisar el estado del manifold, aunque este cuenta con una capa de anticorrosivo y fue tratado con pintura electrostática.

11. CONCLUSIONES

- ✓ Se concibió eficazmente un dispositivo hidráulico compacto, fácil de transportar, confiable, seguro y de larga vida útil, como elemento presurizador en pruebas de integridad para tuberías de transporte de hidrocarburos que se rigen bajo la norma API RP1110.
- ✓ Se logra eliminar los pulsos de presión característicos de las bombas manuales de desplazamiento positivo utilizadas para pruebas hidrostáticas, con las que cuenta el grupo de investigación DICBOT, mediante el diseño y construcción de un sistema de transmisión por tonillo de potencia, que permite el desplazamiento continuo del pistón y así se logra generar una curva lineal en una gráfica Presión Vs Tiempo. Esta curva se obtiene dependiendo de que el operario mantenga un movimiento relativamente constante del elemento transmisor del torque.
- ✓ Se cumple satisfactoriamente con el requerimiento de generar la máxima presión de operación a 10000 psi, con la capacidad de desplazar un volumen máximo de 50 cc. El prototipo de bomba de desplazamiento positivo cuenta con la capacidad de mantener por si sola cualquier valor de presión en el rango de 0 – 10000 psi, logrando una estanqueidad eficiente y creando la posibilidad de suprimir la válvula check presente en la descarga del prototipo de bomba.
- ✓ La selección de materiales que conforman el prototipo de bomba de desplazamiento positivo es adecuada para utilizar fluidos de trabajo, como agua y aceite en el caso de requerirlo.
- ✓ El prototipo de bomba de desplazamiento positivo cuenta con la capacidad de adaptarse a otros bancos de pruebas que requieran su servicio, sin depender de la instalación planteada en el banco de pruebas que se entrega a la escuela. La

configuración de banco a la que el prototipo de bomba sea adaptado no debe exceder la capacidad máxima de operación del dispositivo.

✓ El sistema de transmisión del prototipo de bomba de desplazamiento positivo, se diseñó con la finalidad de poder adaptarse fácilmente a otros sistemas de transmisión de movimiento (como servo-motores, motores paso a paso, etc), mediante la extracción del conjunto transmisor del torque y el posterior remplazo por un sistema que se acople al diseño de los cuñeros presentes en el Tornillo de Potencia.

✓ Se seleccionaron los accesorios adecuados para sistemas de alta presión (6000psi como presión crítica de operación para el accesorio de menor capacidad), con un fácil sistema de sujeción (tipo LET-LOK), que permiten abarcar la máxima presión de pruebas para tuberías de transporte de hidrocarburos que se rigen bajo norma API 5L.

✓ Se logró construir un banco de pruebas de integridad en tubería para el transporte de hidrocarburos siguiendo la norma API RP1110, con los elementos mínimos necesarios para ejecutar y validar una prueba de integridad. El banco cuenta con la capacidad de ser transportado fácilmente a diferentes sitios donde se requiera su servicio debido a su estructura compacta.

✓ Debido a que el funcionamiento del banco es poco complejo, se abre la posibilidad de que se pueda ejecutar una práctica de laboratorio en alguna asignatura que este relacionada con el transporte de fluidos, con la finalidad de relacionar al estudiante con pruebas de integridad en tubería, las cuales son de gran aplicación en el sector de transporte de hidrocarburos.

✓ Se realizó efectivamente una prueba de integridad en tubería basada en la norma API RP1110 como objetivo de aplicación para el diseño del prototipo de

bomba de desplazamiento positivo, donde no se presentaron fugas ni inconvenientes en ninguno de los elementos del banco de pruebas.

✓ Se recibió y perfeccionó la formación en el manejo y operación de maquinas herramientas CNC, específicamente en el tornos de bancada plana “SHENYANG “MACHINE TOOL CO., LTD. Serie CAK 5085di” y “HNC serie CK6032/70”, en el torno de bancada inclinada “DOOSAN LYNX 220LM” y el la fresa “HNC CNC Milling Mcachine XK7132”, incluyendo el aprendizaje del código “G” necesario para programar según el controlador con que cuentan las máquinas herramientas. Con esto se logró manufacturar efectivamente todos los elementos que conforman el prototipo de bomba de desplazamiento positivo.

BIBLIOGRAFÍA

Harvey, Philip D. Engineering properties of steels. American society for metals, 1982.

Bernerd J. Hamrock. Diseño de elementos de máquinas. McGRAW HILL, 2000.

Alfredo Parada Corrales. Módulo de diseño de tornillos de potencia. Ingeniero mecánico UIS. Disponible Centro de Estudios de Ingeniería Mecánica.

Alfredo Parada Corrales. Módulo de fatiga fisura progresiva. Ingeniero mecánico UIS. Disponible Centro de Estudios de Ingeniería Mecánica.

Alfredo Parada Corrales. Módulo de columnas. Ingeniero mecánico UIS. Disponible Centro de Estudios de Ingeniería Mecánica.

Kenneth J. Bombas selección, uso y mantenimiento. McGRAW HILL, 2000.

ECOPETROL. Pruebas Hidrostáticas y de tuberías. Normas de ingeniería de oleoductos, 1997

Norma ASME sección octava, división I. Arreglos para construcción de recipientes a presión. Edición 2004.

Normas fundamentales para la técnica mecánica DIN. Manual 1. Comité de normas alemán DNA, octava edición 1970

NORMA API RP 1110. Pressure Testing of Liquid Petroleum Pipelines. Quinta edición 2007.

NORMA ASME B31.4 Pipeline Transportation Systems for Liquid Hydrocarbons and Other Liquids. Edición 1997.

Centros de Difusión e Innovación Tecnológica CEDIT. Manual I, curso de torno CNC. Disponible <www.tecnocienciasdecolombia.org.com>

NORMA ASME B1.5 Acme ScrewThreads. Edición 1997.

ANEXOS

Anexo A. Cotización manufactura del prototipo de bomba



MULTISERVICIOS
INDUSTRIALES
LTDA.



REVISION: 03

MIL - F - 004

COTIZACION No. 2045

CIUDAD Y FECHA:
CLIENTE:

Bucaramanga, 18 de agosto de 2011
Universidad Industrial De Santander.
Atn. Escuela Mecánica.

ITEM	DESCRIPCION	UND	CANT	Vr. UNIT	Vr. TOTAL
1	Fabricación y ensamble de bomba tipo manual para pruebas hidrostáticas, según plano y especificaciones técnicas. INCLUYE: *Camisa en acero inoxidable 316. *Pistón. *Sello. *Tuercas en bronce especial. *Soporte.		1	\$ 3.718.400	\$ 3.718.400

PLAZO DE ENTREGA: 20 DIAS

SUB-TOTAL	3.718.400
IVA 16 %	594.944
TOTAL	4.313.344

Cordialmente.

MULTISERVICIOS INDUSTRIALES LTDA.
NIT 804.004.647-1

OMAR GAVIRIA AGUIRRE

OMAR GAVIRIA AGUIRRE
Gerente

PBX. 6717166 Carrera 15 No. 9-26 B. Comuneros Bucaramanga - Colombia
www.multindustrial.com

Fuente: Autores

Anexo B. Tratamiento Térmico acero AISI 4140

Alloy Steels/115

Mechanical Properties (continued)

AISI 4140, 4140H: Typical Room-Temperature Tensile Properties of Annealed, Normalized, and Hardened Bar (Ref 8)

Test specimens were oil-hardened and tempered, 25-mm (1-in.) rounds

Condition or treatment	Tempering temperature °C	Tempering temperature °F	Tensile strength MPa	Tensile strength ksi	Yield strength MPa	Yield strength ksi	Elongation(a), %	Reduction in area, %	Hardness, HB	Izod impact energy J	Izod impact energy ft-lb
Annealed.....	...	...	655	35	485	70	26.0	52	185-200	...	...
Heat treated, oil-quenched, and tempered.....	205	400	1795	260	1515	220	8.0	32	520	14	10
	315	600	1585	230	1345	195	11.0	40	455	9	7
	425	800	1380	200	1170	170	15.0	48	385	22	16
	540	1000	1140	165	965	140	18.0	56	320	61	45
	650	1200	931	135	793	115	22.0	63	255	110	80
Normalized at 870 °C (1600 °F); reheated to 845 °C (1560 °F); quenched in oil; tempered.....	205	400	1965	285	1735	252	11.0	42	578	15	11
	260	500	1860	270	1655	240	11.0	44	534	11	8
	315	600	1725	250	1572	228	11.5	46	495	9	7
	370	700	1595	231	1460	212	12.5	48	461	15	11
	425	800	1450	210	1345	195	15.0	50	429	28	21
	480	900	1295	188	1205	175	16.0	52	388	46	34
	540	1000	1150	167	1050	152	17.5	55	341	65	48
	595	1100	1020	148	910	132	19.0	58	311	94	69
	650	1200	896	130	786	114	21.0	61	277	115	83
	705	1300	807	117	689	100	23.0	65	235	135	100

(a) 50 mm (2 in.)

(a) in 50 mm (2 in.)

Fuente: Philip. D HARVEY , Engineering Properties of Steels.

Anexo C. Tabla Propiedades de los Aceros

AISI 1340, 1340H: Turning (Single Point and Box Tools)

Depth of cut mm in.	High speed steel				Speed, brazed				Uncoated carbide				Coated carbide			
	Speed		Feed		Speed		Feed		Speed		Feed		Speed		Feed	
	m/min	ft/min	mm/rev	in./rev	m/min	ft/min	m/min	ft/min	m/min	ft/min	mm/rev	in./rev	m/min	ft/min	mm/rev	in./rev
Hardness, 175 to 225 HB																
1	0.040	41(a)	135(a)	0.18	0.007	115(b)	375(b)	150(b)	500(b)	0.18	0.007	200(c)	650(c)	0.18	0.007	0.007
4	0.150	32(a)	105(a)	0.40	0.015	90(d)	300(d)	120(d)	400(d)	0.50	0.020	160(e)	525(e)	0.40	0.015	0.015
8	0.300	24(a)	80(a)	0.50	0.020	73(d)	240(d)	95(d)	315(d)	0.75	0.030	120(e)	400(e)	0.50	0.020	0.020
16	0.625	20(a)	65(a)	0.75	0.030	58(d)	190(d)	76(d)	250(d)	1.00	0.040	...	...	...	...	...
Hardness, 225 to 275 HB																
1	0.040	35(a)	115(a)	0.18	0.007	105(b)	350(b)	140(b)	465(b)	0.18	0.007	185(c)	600(c)	0.18	0.007	0.007
4	0.150	27(a)	90(a)	0.40	0.015	85(d)	280(d)	110(d)	365(d)	0.50	0.020	145(e)	475(e)	0.40	0.015	0.015
8	0.300	21(a)	70(a)	0.50	0.020	67(d)	220(d)	87(d)	285(d)	0.75	0.030	115(e)	375(e)	0.50	0.020	0.020
16	0.625	17(a)	55(a)	0.75	0.030	52(d)	170(d)	69(d)	225(d)	1.00	0.040	...	...	...	...	...
Hardness, 275 to 325 HB																
1	0.040	27(f)	90(f)	0.18	0.007	100(b)	330(b)	135(b)	440(b)	0.18	0.007	175(c)	575(c)	0.18	0.007	0.007
4	0.150	21(f)	70(f)	0.40	0.015	79(d)	260(d)	105(d)	340(d)	0.40	0.015	135(e)	450(e)	0.40	0.015	0.015
8	0.300	17(f)	55(f)	0.50	0.020	60(d)	200(d)	82(d)	270(d)	0.50	0.020	105(e)	350(e)	0.50	0.020	0.020
Hardness, 325 to 375 HB																
1	0.040	21(f)	70(f)	0.13	0.005	84(b)	275(b)	115(b)	380(b)	0.18	0.007	150(c)	500(c)	0.18	0.007	0.007
4	0.150	17(f)	55(f)	0.25	0.010	66(d)	215(d)	90(d)	300(d)	0.40	0.015	120(e)	400(e)	0.40	0.015	0.015
8	0.300	12(f)	40(f)	0.40	0.015	52(d)	170(d)	72(d)	235(d)	0.50	0.020	90(e)	300(e)	0.50	0.020	0.020
Hardness, 375 to 425 HB																
1	0.040	18(f)	60(f)	0.13	0.005	69(b)	225(b)	90(b)	300(b)	0.18	0.007	120(c)	400(c)	0.18	0.007	0.007
4	0.150	14(f)	45(f)	0.25	0.010	53(d)	175(d)	73(d)	240(d)	0.40	0.015	90(e)	300(e)	0.40	0.015	0.015
8	0.300	11(f)	35(f)	0.40	0.015	43(d)	140(d)	58(d)	190(d)	0.50	0.020	76(e)	250(e)	0.50	0.020	0.020

(a) High speed steel tool material: M2 or M3. (b) Carbide tool material: C-7. (c) Carbide tool material: CC-7. (d) Carbide tool material: C-6. (e) Carbide tool material: CC-6. (f) Any premium high speed steel tool material (T15, M33, M41 to M47)

Fuente: Philip. D HARVEY , Engineering Properties of Steels

AISI 1340, 1340H: Drilling

Tool material	Speed		Feed per revolution for nominal hole diameter of:											
	m/min	ft/min	1.5 mm (0.062 in.)	3 mm (0.125 in.)	6 mm (0.25 in.)	12 mm (0.5 in.)	18 mm (0.75 in.)	25 mm (1 in.)	mm	in.	mm	in.	mm	in.
Hardness, 175 to 225 HB														
M10, M7, and M1 high speed steel 20	65	...	0.025	0.001	0.075	0.003	0.15	0.006	0.25	0.010	0.36	0.014	0.40	0.016
Hardness, 225 to 275 HB														
M10, M7, and M1 high speed steel 17	55	...	0.025	0.001	0.075	0.003	0.102	0.004	0.18	0.007	0.25	0.010	0.30	0.012
Hardness, 275 to 325 HB														
M10, M7, and M1 high speed steel 14	45	...	...	...	0.050	0.002	0.102	0.004	0.15	0.006	0.20	0.008	0.23	0.009
Hardness, 325 to 375 HB														
M10, M7, and M1 high speed steel 11	35	...	...	...	0.050	0.002	0.075	0.003	0.13	0.005	0.20	0.008	0.23	0.009
Hardness, 375 to 425 HB														
Any premium high speed steel (T15, M33, M41-M47) 8	25	...	...	...	0.050	0.002	0.075	0.003	0.102	0.004	0.15	0.006	0.20	0.008

Fuente: Philip. D HARVEY , Engineering Properties of Steels

AISI 1340, 1340H: Face Milling

Depth of cut mm in.	High speed steel				Uncoated carbide				Coated carbide			
	Speed		Feed/tooth		Speed, brazed		Speed, inserted		Speed		Feed/tooth	
	m/min	ft/min	mm	in.	m/min	ft/min	m/min	ft/min	m/min	ft/min	mm	in.
Hardness, 175 to 225 HB												
1	0.040	175(a)	0.20	0.008	140(b)	460(b)	170(b)	560(b)	0.20	0.008	250(c)	825(c)
4	0.150	41(a)	0.30	0.012	115(b)	380(b)	135(b)	440(b)	0.30	0.012	175(c)	570(c)
8	0.300	35(a)	0.40	0.016	85(d)	280(d)	105(d)	345(d)	0.40	0.016	135(e)	450(e)
Hardness, 225 to 275 HB												
1	0.040	150(a)	0.15	0.006	125(b)	415(b)	155(b)	510(b)	0.18	0.007	235(c)	765(c)
4	0.150	34(a)	0.25	0.010	100(b)	330(b)	120(b)	400(b)	0.25	0.010	160(c)	520(c)
8	0.300	26(a)	0.36	0.014	79(d)	260(d)	95(d)	315(d)	0.36	0.014	125(e)	410(e)
Hardness, 275 to 325 HB												
1	0.040	105(f)	0.15	0.006	120(b)	400(b)	145(b)	485(b)	0.15	0.006	220(c)	725(c)
4	0.150	26(f)	0.23	0.009	95(b)	305(b)	115(b)	375(b)	0.20	0.008	150(c)	485(c)
8	0.300	20(f)	0.30	0.012	72(d)	235(d)	88(d)	290(d)	0.25	0.010	115(e)	375(e)
Hardness, 325 to 375 HB												
1	0.040	80(f)	0.13	0.005	105(b)	345(b)	130(b)	420(b)	0.13	0.005	190(c)	630(c)
4	0.150	18(f)	0.20	0.008	81(b)	265(b)	100(b)	325(b)	0.18	0.007	130(c)	420(c)
8	0.300	15(f)	0.25	0.010	62(d)	205(d)	76(d)	250(d)	0.23	0.009	100(e)	325(e)
Hardness, 375 to 425 HB												
1	0.040	60(f)	0.102	0.004	81(b)	265(b)	100(b)	325(b)	0.102	0.004	150(c)	485(c)
4	0.150	15(f)	0.15	0.006	66(b)	215(b)	81(b)	265(b)	0.15	0.006	105(c)	345(c)
8	0.300	12(f)	0.20	0.008	52(b)	170(b)	62(b)	205(b)	0.20	0.008	81(c)	265(c)

(a) High speed steel tool material: M2 or M3. (b) Carbide tool material: C-6. (c) Carbide tool material: CC-6. (d) Carbide tool material: C-5. (e) Carbide tool material: CC-5. (f) Any premium high speed steel tool material (T15, M33, M41 to M47)

Fuente: Philip. D HARVEY , Engineering Properties of Steels

AISI Type 201: Turning (Single Point and Box Tools)

Depth of cut mm in.	High speed steel				Uncoated carbide				Coated carbide			
	Speed		Feed		Speed, brazed		Speed, inserted		Speed		Feed	
	m/min	ft/min	mm/rev	in./rev	m/min	ft/min	m/min	ft/min	m/min	ft/min	mm/rev	in./rev
Annealed, with hardness of 135 to 185 HB												
1	0.040	34(a)	0.18	0.007	105(b)	350(b)	120(b)	400(b)	0.18	0.007	160(c)	525(c)
4	0.150	27(a)	0.40	0.015	100(b)	325(b)	105(b)	350(b)	0.40	0.015	135(c)	450(c)
8	0.300	21(a)	0.50	0.020	78(d)	250(d)	84(d)	275(d)	0.50	0.020	105(e)	350(e)
16	0.625	17(a)	0.75	0.030	60(d)	200(d)	64(d)	210(d)	0.75	0.030	...	...
Cold drawn, with hardness of 225 to 275 HB												
1	0.040	30(f)	0.18	0.007	100(b)	325(b)	105(b)	350(b)	0.18	0.007	135(c)	450(c)
4	0.150	24(f)	0.40	0.015	84(b)	275(b)	90(b)	300(b)	0.40	0.015	120(c)	400(c)
8	0.300	20(f)	0.50	0.020	64(d)	210(d)	72(d)	235(d)	0.50	0.020	90(e)	300(e)
16	0.625	15(f)	0.75	0.030	49(d)	160(d)	55(d)	180(d)	0.75	0.030	...	...

(a) High speed steel tool material: M2 or M3. (b) Carbide tool material: C-3. (c) Carbide tool material: CC-3. (d) Carbide tool material: C-2. (e) Carbide tool material: CC-2. (f) Any premium high speed steel tool material (T15, M33, M41 to M47)

Fuente: Philip. D HARVEY , Engineering Properties of Steels

AISI Type 201: Drilling

Tool material	Speed, m/min (ft/min)	Feed per revolution for nominal hole diameter of:							
		1.5 mm (0.062 in.) mm (in.)	3 mm (0.125 in.) mm (in.)	6 mm (0.25 in.) mm (in.)	12 mm (0.5 in.) mm (in.)	18 mm (0.75 in.) mm (in.)	25 mm (1 in.) mm (in.)	35 mm (1.5 in.) mm (in.)	50 mm (2 in.) mm (in.)
Annealed, with hardness of 135 to 185 HB									
M10, M7, and M1 high speed steel	18 (60)	0.025 (0.001)	0.050 (0.002)	0.102 (0.004)	0.18 (0.007)	0.25 (0.010)	0.30 (0.012)	0.40 (0.015)	0.45 (0.018)
Cold drawn, with hardness of 225 to 275 HB									
M10, M7, and M1 high speed steel	17 (55)	0.025 (0.001)	0.050 (0.002)	0.102 (0.004)	0.18 (0.007)	0.25 (0.010)	0.30 (0.012)	0.40 (0.015)	0.45 (0.018)

Fuente: Philip. D HARVEY , Engineering Properties of Steels

AISI 1030, 1034, 1035: Turning (Single Point and Box Tools)

Depth of cut mm in.	M2 and M3 high speed steel				Uncoated carbide				Coated carbide						
	Speed		Feed		Speed, brazed		Speed, inserted		Feed		Speed		Feed		
	m/min	ft/min	mm/rev	in./rev	m/min	ft/min	m/min	ft/min	mm/rev	in./rev	m/min	ft/min	mm/rev	in./rev	
Hardness, 125 to 175 HB															
1	0.040	43	140	0.18	0.007	140(a)	465(a)	180(a)	590(a)	0.18	0.007	280(b)	925(b)	0.18	0.007
4	0.150	35	115	0.40	0.015	110(c)	360(c)	140(c)	460(c)	0.50	0.020	185(d)	600(d)	0.40	0.015
8	0.300	27	90	0.50	0.020	85(c)	280(c)	110(c)	360(c)	0.75	0.030	145(d)	475(d)	0.50	0.020
16	0.625	11	70	0.75	0.030	67(c)	220(c)	85(c)	280(c)	1.00	0.040	...	...	...	...
Hardness, 175 to 225 HB															
1	0.040	40	130	0.18	0.007	130(a)	430(a)	160(a)	525(a)	0.18	0.007	240(b)	785(b)	0.18	0.007
4	0.150	30	100	0.40	0.015	100(c)	325(c)	125(c)	410(c)	0.50	0.020	160(d)	525(d)	0.40	0.015
8	0.300	26	85	0.50	0.020	78(c)	255(c)	100(c)	320(c)	0.75	0.030	125(d)	415(d)	0.50	0.020
16	0.625	20	65	0.75	0.030	60(c)	200(c)	78(c)	255(c)	1.00	0.040	...	...	...	...

(a) Carbide tool material: C-7. (b) Carbide tool material: CC-7. (c) Carbide tool material: C-6. (d) Carbide tool material: CC-6

(a) Carbide tool material: C-7. (b) Carbide tool material: CC-7. (c) Carbide tool material: C-6. (d) Carbide tool material: CC-6

Fuente: Philip. D HARVEY , Engineering Properties of Steels

AISI 1030, 1034, 1035: Face Milling

Depth of cut mm in.		M2 and M7 high speed steel				Uncoated carbide				Coated carbide					
		Speed		Feed/tooth		Speed, brazed		Speed, inserted		Feed/tooth		Speed		Feed/tooth	
		m/min	ft/min	mm	in.	m/min	ft/min	m/min	ft/min	mm	in.	m/min	ft/min	mm	in.
Hardness, 125 to 175 HB															
1	0.040	55	180	0.20	0.008	190(a)	625(a)	215(a)	700(a)	0.20	0.008	320(b)	1050(b)	0.20	0.008
4	0.150	46	150	0.30	0.012	145(a)	475(a)	165(a)	540(a)	0.30	0.012	215(b)	700(b)	0.30	0.012
8	0.300	35	115	0.40	0.016	105(c)	345(c)	130(c)	420(c)	0.40	0.016	165(d)	545(d)	0.40	0.016
Hardness, 175 to 225 HB															
1	0.040	49	160	0.20	0.008	160(a)	525(a)	170(a)	560(a)	0.20	0.008	255(b)	840(b)	0.20	0.008
4	0.150	38	125	0.30	0.012	125(a)	410(a)	145(a)	480(a)	0.30	0.012	190(b)	625(b)	0.30	0.012
8	0.300	30	100	0.40	0.016	95(c)	310(c)	115(c)	375(c)	0.40	0.016	150(d)	485(d)	0.40	0.016

(a) Carbide tool material: C-6. (b) Carbide tool material: CC-6. (c) Carbide tool material: C-5. (d) Carbide tool material: CC-5

(a) Carbide tool material: C-6. (b) Carbide tool material: CC-6. (c) Carbide tool material: C-5. (d) Carbide tool material: CC-5

Fuente: Philip. D HARVEY , Engineering Properties of Steels

AISI 1030, 1034, 1035: Drilling

Tool material	Speed		Feed per revolution for nominal hole diameter of:											
	m/min	ft/min	1.5 mm (0.062 in.)		3 mm (0.125 in.)		6 mm (0.25 in.)		12 mm (0.5 in.)		18 mm (0.75 in.)		25 mm (1 in.)	
			mm	in.	mm	in.	mm	in.	mm	in.	mm	in.	mm	in.
Hardness, 125 to 175 HB														
M10, M7, and M1 high speed steel	21	70	0.025	0.001	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
	26	85	...	...	0.075	0.003	0.13	0.005	0.23	0.009	0.30	0.012	0.45	0.018
Hardness, 175 to 225 HB														
M10, M7, and M1 high speed steel	20	65	0.025	0.001	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
	23	75	...	...	0.075	0.003	0.13	0.005	0.23	0.009	0.30	0.012	0.45	0.018

Fuente: Philip. D HARVEY , Engineering Properties of Steels.

Anexo D. Plaquetas Walter Tiger



Información técnica: torneado

Datos de corte para plaquetas de torneado: forma básica negativa Calidades de metal duro

Grupo de materiales	 = datos de corte para mecanizado en húmedo  = el mecanizado en seco resulta posible			Dureza Brinell HB	Resistencia a la tracción R _m N/mm²	Grupo de arranque de viruta ¹			Grados de material de corte					
									Valores iniciales para velocidad de corte v _c [m/min]					
									HC					
									WPP01			WPP05		
			f [mm/rev]			f [mm/rev]								
			0,10	0,20	0,30	0,10	0,40	0,60						
P	Acero no aleado	C ≤ 0,25 %	recocido	125	428	P1	••	•	620	590	560	610	470	350
		C > 0,25 - ≤ 0,55 %	recocido	190	639	P2	••	•	530	500	480	520	380	300
		C > 0,25 - ≤ 0,55 %	bonificado	210	708	P3	••	•	400	380	360	400	310	260
		C > 0,55 %	recocido	190	639	P4	••	•	510	480	460	500	360	280
		C > 0,55 %	bonificado	300	1013	P5	••	•	320	300	290	310	240	220
		Acero para torne automático (de viruta corta)	recocido	220	745	P6	••	•	510	490	470	500	360	280
	Acero de baja aleación	recocido	175	591	P7	••	•	460	440	420	460	330	290	
		bonificado	300	1013	P8	••	•	300	280	270	290	230	200	
		bonificado	380	1282	P9	••	•	270	250	220	260	180	140	
		bonificado	430	1477	P10	••	•	80	70	60	70	60		
	Acero de alta aleación y acero para herramientas de alta aleación	recocido	200	675	P11	••	•	480	460	440	480	300	220	
		templado y revenido	300	1013	P12	••	•	250	240	230	250	140	110	
		templado y revenido	400	1361	P13	••	•	90	80	70	80	70		
		Acero inoxidable	ferrítico / martensítico, recocido	200	675	P14	••	•						
			martensítico, bonificado	330	1114	P15	••	•						
M	Acero inoxidable	austenítico, precipitado	200	675	M1	••	•							
		austenítico, templado por precipitación (PH)	300	1013	M2	••	•							
		austenítico-ferrítico, dúplex	230	778	M3	••	•							
K	Fundición maleable	ferrítica	200	675	K1	••	•	300	270	250				
		perlítico	260	867	K2	••	•	260	230	210				
	Fundición gris	baja resistencia	180	602	K3	••	•	550	490	440				
		alta resistencia / austenítico	245	825	K4	••	•	300	270	250				
	Fundición de hierro con grafito esferoidal	ferrítica	155	518	K5	••	•	320	290	260				
		perlítico	265	885	K6	••	•	230	210	190				
	GGV (CGI)	200	675	K7	••	•				380	250			
N	Aleaciones forjables de aluminio	no templables	30	—	N1									
		templables, endurecidas	100	343	N2									
		≤ 12 % Si, no templables	75	260	N3									
	Aleaciones de fundición de aluminio	≤ 12 % Si, templables templados	90	314	N4									
		> 12 % Si, no templable	130	447	N5									
	Aleaciones de magnesio	no aleado, cobre electrolítico	70	250	N6									
		Latón, bronce, fundición roja	100	343	N7									
	Cobre y aleaciones de cobre (bronce, latón)	Aleaciones de cobre, de viruta corta	90	314	N8									
		de alta dureza, Ampco	110	382	N9									
S	Aleaciones termorresistentes		300	1013	N10									
		Base Fe	recocido	200	675	S1	••	•						
			endurecidas	280	943	S2	••	•						
		Base Ni o Co	recocido	250	839	S3	••	•						
			endurecidas	350	1177	S4	••	•						
			colada	320	1076	S5	••	•						
	Aleaciones de titanio	Titanio puro	200	675	S6	••	•							
		Aleaciones α y β, endurecidas	375	1262	S7	••	•							
		Aleaciones β	410	1396	S8	••	•							
	Aleaciones de tungsteno	300	1013	S9										
	Aleaciones de molibdeno	300	1013	S10										
H	Acero templado	templado y revenido	50 HRC	—	H1	•	••							
		templado y revenido	55 HRC	—	H2	•	••							
		templado y revenido	60 HRC	—	H3	•	••							
	Fundición endurecida	templado y revenido	55 HRC	—	H4	•	••							
O	Termoplásticos	sin materiales de relleno abrasivos				O1								
	Duroplásticos	sin materiales de relleno abrasivos				O2								
	Plástico reforzado con fibra de vidrio	GFRP				O3								
	Plástico reforzado con fibra de carbono	CFRP				O4								
	Plástico reforzado con fibra de aramida	AFRP				O5								
	Grafito (técnico)			80 Shore		O6								

- Aplicación recomendada (los datos de corte proporcionados se deben tomar como valores iniciales para la aplicación recomendada)
- Aplicación posible

Advertencia:
En caso de que el mecanizado en seco resulte posible, la duración se reduce en torno al 20–30 % de media.

¹ La asignación de los grupos de arranque de viruta se encuentra a partir de la página H 8.

Fuente: Catálogo Walter Tiger Tec.



Grados de material de corte

Valores iniciales para velocidad de corte v_c [m/min]

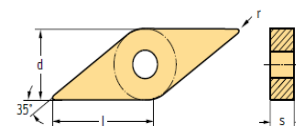
	HC																								HW											
	WPP20			WPP30			WSM10			WSM20			WSM21			WSM30			WAK10			WAK20			WAK30			WXN10			WK1			WS10		
	F [mm/rev]			F [mm/rev]			F [mm/rev]			F [mm/rev]			F [mm/rev]			F [mm/rev]			F [mm/rev]			F [mm/rev]			F [mm/rev]			F [mm/rev]			F [mm/rev]			F [mm/rev]		
	0,10	0,20	0,40	0,10	0,20	0,40	0,10	0,20	0,40	0,10	0,20	0,40	0,10	0,20	0,40	0,10	0,20	0,40	0,10	0,20	0,40	0,10	0,20	0,40	0,10	0,20	0,40	0,10	0,20	0,40	0,10	0,20	0,40			
	450	410	330	430	390	290	290	270		260	240		230	210		230	210					560	500	420	430	390	290									
	380	340	270	360	320	240	240	220		200	180		180	160		180	160					480	430	340	360	320	240									
	280	250	230	220	190	170	200	180		160	140		140	120		140	120					340	300	260	240	220	190									
	360	330	310	300	270	250	220	200		180	160		160	140		160	140					440	400	310	330	290	240									
	210	180	160	160	130	110																290	260	220	200	180	140									
	360	330	310	300	270	250	220	200		180	160		160	140		160	140					360	330	280	260	240	210									
	340	310	290	260	230	210																410	370	310	300	270	210									
	190	160	140	140	110	90																290	260	220	190	170	140									
	140	110	90	110	80	60																220	200	140	120	100	60									
	50	40																				60	50													
	340	310	290	260	230	210																430	380	300	300	270	210									
	160	130	110	130	100	80																220	200	130	110	100	80									
	60	50																				70	60													
	260	230	210	190	160	140																340	300	280	230	210	190									
	150	120	100	120	90	70																250	220	180	160	140	110									
		220	180		160	125	220	200	130	200	180	110	180	140	90		180	140	90									220	200							
		110	80		90	70	160	140		140	120		110	90		110	90											100	80							
		160	110		120	90	170	150	110	150	130	80	130	110	70	130	110	70										170	130							
	240	210	190																310	280	210	240	220	170	190	170	120									
	200	170	150																290	260	190	220	200	150	170	150	100									
	460	430	410																560	500	370	500	450	290	450	470	230									
	200	170	150																350	320	240	270	240	190	210	180	150									
	220	190	170																370	330	270	290	260	210	230	200	160									
	150	120	100																270	240	210	210	190	160	160	150	120									
																			310	260	210															

HC = metal duro recubierto
HW = metal duro sin recubrimiento

355

Forma básica negativa VNGG / VNMG / VNMA

Tiger·tec®



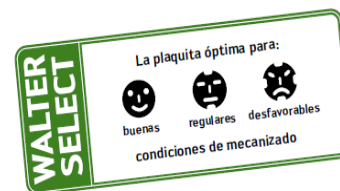
Plaquetas de corte

	Denominación	d mm	l mm	s mm	r mm	f mm	ap mm	P				M		K		S		HW
								WPP01	WPP05	WPP10	WPP20	WPP30	WSM10	WSM20	WSM30	WAK10	WAK20	
	VNMG160404-NF3	9,525	16,5	4,76	0,4	0,04 - 0,22	0,1 - 1,5	☺	☺	☺								
	VNMG160408-NF3	9,525	16,5	4,76	0,8	0,08 - 0,25	0,2 - 2,0	☺	☺	☺								
	VNGG160404-NFT	9,525	16,5	4,76	0,4	0,04 - 0,13	0,1 - 1,5											☺
	VNGG160408-NFT	9,525	16,5	4,76	0,8	0,06 - 0,16	0,2 - 2,0											☺
	VNMG160404-NFT	9,525	16,5	4,76	0,4	0,05 - 0,15	0,2 - 1,5					☺				☺	☺	☺
	VNMG160408-NFT	9,525	16,5	4,76	0,8	0,07 - 0,18	0,3 - 2,0					☺				☺	☺	☺
	VNMG160404-NMS	9,525	16,5	4,76	0,4	0,08 - 0,16	0,5 - 1,5					☺	☺			☺	☺	
	VNMG160408-NMS	9,525	16,5	4,76	0,8	0,10 - 0,22	0,8 - 2,2					☺	☺			☺	☺	
	VNMG160404-NM4	9,525	16,5	4,76	0,4	0,16 - 0,25	0,5 - 4,0		☺	☺	☺	☺	☺	☺		☺	☺	☺
	VNMG160408-NM4	9,525	16,5	4,76	0,8	0,18 - 0,35	0,6 - 4,0		☺	☺	☺	☺	☺	☺		☺	☺	☺
	VNMG160412-NM4	9,525	16,5	4,76	1,2	0,20 - 0,40	0,8 - 4,0			☺	☺							
	VNMG160404-NM5	9,525	16,5	4,76	0,4	0,16 - 0,25	0,6 - 4,0								☺	☺		
	VNMG160408-NM5	9,525	16,5	4,76	0,8	0,18 - 0,35	0,8 - 4,0								☺	☺		
	VNMG160412-NM5	9,525	16,5	4,76	1,2	0,20 - 0,40	1,0 - 4,0								☺	☺		
	VNMA160404	9,525	16,5	4,76	0,4	0,16 - 0,25	0,6 - 4,0								☺	☺		
	VNMA160408	9,525	16,5	4,76	0,8	0,18 - 0,35	0,8 - 4,0								☺	☺		
	VNMA160412	9,525	16,5	4,76	1,2	0,20 - 0,40	1,0 - 4,0								☺	☺		

Calidad superficial alcanzable e informaciones técnicas, véase la página A 298.

HC = metal duro recubierto

HW = metal duro sin recubrimiento



Fuente: Catálogo Walter Tiger Tec.

Anexo E. Plaquita alesado Kennametal



KENNA PERFECT™ – Acero

Carbono, Aleación, y Acero para herramientas a 450 HB (48 HRC)

■ 3er Paso — Seleccione la velocidad de corte

Bajo carbono (< 0,3% C) y acero de mecanizado libre

KENNA PERFECT Grupo de materiales	calidad	Velocidad - m/min (sfm)								Condiciones iniciales ◇	
		135 (450)	180 (600)	225 (750)	275 (900)	320 (1050)	360 (1200)	410 (1350)	455 (1500)	m/min	sfm
P1	KT315 / KC9105									440	1450
	KC9110 / KC9315									400	1320
	KC9125 / KC9225 / KC5010									280	925
	KC9140 / KC9240									215	700

Aceros con contenido de carbono medio y alto (> 0,3 % C)

KENNA PERFECT Grupo de materiales	calidad	Velocidad - m/min (sfm)								Condiciones iniciales ◇	
		135 (450)	180 (600)	225 (750)	275 (900)	320 (1050)	360 (1200)	410 (1350)		m/min	sfm
P2	KT315 / KC9105									270	880
	KC9110 / KC9315									250	800
	KC9125 / KC9225 / KC5010									200	650
	KC9140 / KC9240									150	500

Aceros aleados y acero para herramientas (≤ 330 HB) (≤ 35 HRC)

KENNA PERFECT Grupo de materiales	calidad	Velocidad - m/min (sfm)								Condiciones iniciales ◇	
		135 (450)	180 (600)	225 (750)	275 (900)	320 (1050)	360 (1200)	410 (1350)		m/min	sfm
P3	KT315 / KC9105									210	680
	KC9110 / KC9315									190	630
	KC9125 / KC9225 / KC5010									155	510
	KC9140 / KC9240									120	400

Aceros aleados y aceros para herramientas (340 - 450 HB) (36 - 48 HRC)

KENNA PERFECT Grupo de materiales	calidad	Velocidad - m/min (sfm)								Condiciones iniciales ◇	
		60 (200)	90 (300)	120 (400)	160 (500)	180 (600)	210 (700)	240 (900)		m/min	sfm
P4	KT315 / KC9105									210	530
	KC9110 / KC9315									150	480
	KC9125 / KC9225 / KC5010									110	360
	KC9140 / KC9240									100	325

Aceros férricos, martensíticos e inoxidables PH (≤ 330 HB) (≤ 35 HRC)

KENNA PERFECT Grupo de materiales	calidad	Velocidad - m/min (sfm)								Condiciones iniciales ◇	
		120 (400)	150 (500)	180 (600)	210 (700)	240 (800)	275 (900)	300 (1000)		m/min	sfm
P5	KT315 / KC9105									250	800
	KC9110 / KC9315									220	720
	KC9125 / KC9225 / KC5010									200	660
	KC9140 / KC9240									140	450

Aceros férricos, martensíticos e inoxidables PH (340 - 450 HB) (36 - 48 HRC)

KENNA PERFECT Grupo de materiales	calidad	Velocidad - m/min (sfm)								Condiciones iniciales ◇	
		105 (350)	135 (450)	170 (550)	200 (650)	225 (750)	260 (850)	285 (950)		m/min	sfm
P6	KT315 / KC9105									200	660
	KC9110 / KC9315									180	600
	KC9125 / KC9225 / KC5010									150	500
	KC9140 / KC9240									110	350

◇ Representa las condiciones de inicio recomendadas. Optimice para su aplicación específica.

Para realizar un pedido, comuníquese con Kennametal o el distribuidor autorizado de Kennametal, o visite www.kennametal.com.

Fuente: Catálogo KENNAMETAL

■ 3er Paso — Seleccione la velocidad de corte

Acero inoxidable austenítico

KENNA PERFECT Grupo de materiales	calidad	Velocidad - m/min (sfm)						Condiciones iniciales ◊	
		90 (300)	135 (450)	180 (600)	225 (750)	275 (900)	321 (1050)	360 (1200)	m/min sfm
M1	KT315				◊				230 750
	KC5010				◊				215 700
	KC9210			◊					160 530
	KC9225			◊					185 600
	KC5025			◊					180 550
	KC9230		◊						120 400
	KC9240		◊						150 500
	KC9245		◊						120 400

Acero inoxidable austenítico

KENNA PERFECT Grupo de materiales	calidad	Velocidad - m/min (sfm)						Condiciones iniciales ◊	
		90 (300)	135 (450)	180 (600)	225 (750)	275 (900)	321 (1050)	360 (1200)	m/min sfm
M2	KT315				◊				215 700
	KC5010				◊				200 650
	KC9210			◊					160 530
	KC9225			◊					170 550
	KC5025			◊					165 500
	KC9230		◊						120 400
	KC9240		◊						140 450
	KC9245		◊						105 350

Acero inoxidable austenítico: Duplex (Mezcla ferrítica y austenítica)

KENNA PERFECT Grupo de materiales	calidad	Velocidad - m/min (sfm)						Condiciones iniciales ◊	
		90 (300)	135 (450)	180 (600)	225 (750)	275 (900)	321 (1050)	360 (1200)	m/min sfm
M3	KT315				◊				200 650
	KC5010				◊				185 600
	KC9210			◊					160 530
	KC9225			◊					150 500
	KC5025			◊					150 450
	KC9230		◊						110 370
	KC9240		◊						120 400
	KC9245		◊						90 300

◊ Representa las condiciones de inicio recomendadas. Optíme para su aplicación específica.

Los aceros inoxidable PH, martensítico y ferrítico como los enumerados a continuación cuentan con características de corte similares a aquellas de los aceros típicos. Para recomendaciones sobre el corte de estos tipos de aceros, consulte la página 11 (grupos P5 y P6).

Acero inoxidable PH, martensítico y ferrítico (330-450 HB) (hasta 48 HRC)

Para realizar un pedido, comuníquese con Kennametal o el distribuidor autorizado de Kennametal, o visite www.kennametal.com.

SISTEMA DE SELECCIÓN
KENNA PERFECT

PLAQUITAS

MECANIZADO D.E.D.I.

VOI ADAPTADOR PARA
HERRAMIENTAS

RAJADO Y TRONZADO

ROSCADO

ESPECÍFICAS POR
APLICACIÓN

HERRAMIENTAS DE
CAMBIO RÁPIDO E.I.M.

PRODUCTOS CLÁSICOS

SECUNDARIA

ÍNDICE

Fuente: Catálogo KENNAMETAL

	operación	aplicación de estilo de plaquita	geometría de plaquita	perfil	velocidad de avance - (mm)												profundidad de corte - (mm)												
					0,04	0,063	0,01	0,16	0,25	0,4	0,63	1,0	1,6	2,5	5,0	0,1	0,16	0,25	0,4	0,63	1,0	1,6	2,5	4,0	6,3	10,0			
Screw-ON Plaquetas	acabado	MT-LF																											
Screw-ON Plaquetas	mecanizado medio	MT-MF																											
Plaquetas positivas KENDEX™	acabado	_GF pulido de precisión																											
Plaquetas positivas KENDEX™	mecanizado medio	_MR																											
					velocidad de avance - (pulgadas)												profundidad de corte - (pulgadas)												
					.0015	.0025	.004	.006	.010	.016	.025	.040	.060	.100	.200	.004	.006	.010	.016	.025	.040	.060	.100	.160	.250	.500			

Para realizar un pedido, comuníquese con Kennametal o el distribuidor autorizado de Kennametal, o visite www.kennametal.com.

39

Fuente: Catálogo KENAMETAL

Anexo F. Plaquetas Ranurado Kennametal

KENNA PERFECT™ — A4 Ranurado y torneado



5 fáciles pasos para obtener una mayor productividad en el ranurado y torneado

■ 4 o paso — Seleccione la calidad y la velocidad

Calidades KENNA PERFECT recomendadas

Condición de corte	Acero	Acero inoxidable	Fundición	Metales no férreos	Aleaciones -de alta temperatura	Materiales templados
Corte altamente interrumpido	KC5025	KC5025	KC9125	KC5025	KC5025	—
Corte levemente interrumpido	KC9125/KC5025	KC5025	KC9125	KC5025	KC5025	—
Profundidad de corte variable, fundición o forro forjado	KC5010	KC5010	KC9110	KC5010/KD1405	K313/KC5010	KC5010*
Corte alisado, superficie con torneado previo	KT315**/KC9110	KT315	KC9110	KC5010/KD1405	K313/KC5010	KC5010*

*NOTA: Existen plaquetas con puntas en punta KB5625 disponibles previa solicitud.



Velocidades de corte KENNA PERFECT recomendadas

Acero		Velocidad - m/min (sfm)					Condiciones iniciales	
KENNA PERFECT Grupo de materiales	calidad	60 (200)	120 (400)	185 (600)	245 (800)	300 (1000)	m/min	sfm
P	KC5025						120	400
	KC9125						200	660
	KC9110						250	800
	KT315**						260	860

** NOTA: KT315 es una opción alternativa para el acero; disponible principalmente en el rompevirutas GMP.

Acero inoxidable		Velocidad - m/min (sfm)					Condiciones iniciales	
KENNA PERFECT Grupo de materiales	calidad	45 (150)	90 (300)	140 (450)	185 (600)	230 (750)	m/min	sfm
M	KC5025						105	360
	KC5010						135	450
	KC315						170	400

Fundición		Velocidad - m/min (sfm)							Condiciones iniciales	
KENNA PERFECT Grupo de materiales	calidad	150 (500)	300 (1000)	450 (1500)	600 (2000)	750 (2500)	900 (3000)	1050 (3500)	m/min	sfm
K	KC9320								230	750
	KY3500								760	2500

Metales no ferrosos		Velocidad - m/min (sfm)						Condiciones iniciales	
KENNA PERFECT Grupo de materiales	calidad	150 (500)	300 (1000)	460 (1500)	610 (2000)	760 (2500)		m/min	sfm
N	KC5025							365	1200
	KC5010							455	1500
	KD1405***							610	2000

*** Recomendado para aleaciones de aluminio con alta concentración de silicio y no metales abrasivos.

D66 Para realizar un pedido, comuníquese con Kennametal o el distribuidor autorizado de Kennametal, o visite www.kennametal.com.

Fuente: Catálogo KENNAMETA

■ 3er paso — Seleccione el estilo de rompevirutas y la velocidad de avance

Seleccione el rompevirutas basándose en el tipo de material.

Acero	Acero inoxidable	Fundición	Metales no férreos	Aleaciones de alta temperatura	Materiales templados
GMN	GMP	GMN	GMP esmerilado de precisión (-E para KD 1405)	GMP esmerilado de precisión	GMN *

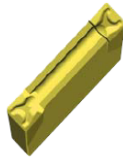
* Existen plaquitas con puntas alternativas en KB5625 disponibles previa solicitud.

NOTA: Las plaquitas A4-P-GMN de esmerilado de precisión se pueden aplicar en todos los grupos de materiales para ranurado de ancho en pulgadas

Directrices de profundidad de corte y de avance para las plaquitas cuadradas (A4G...):

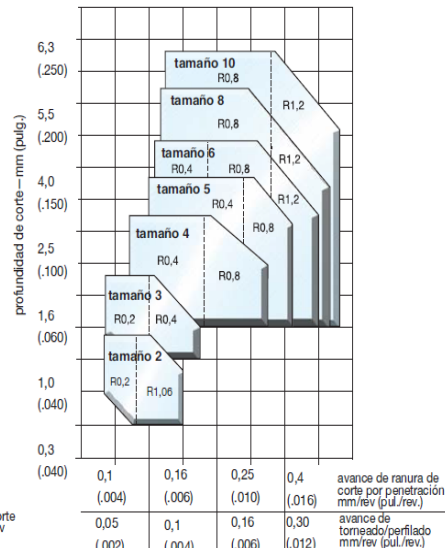
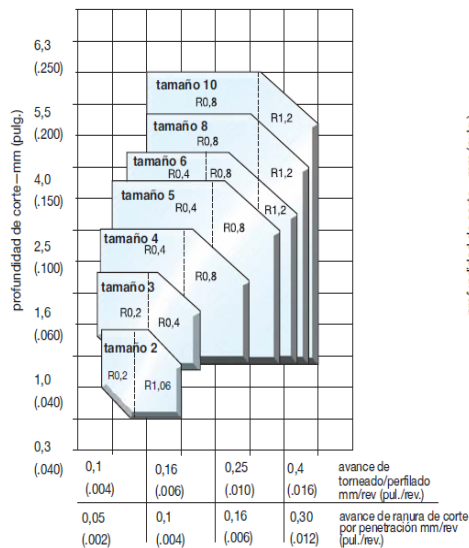
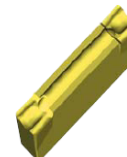
Rompevirutas GMN

- Plaquitas de esmerilado moldeadas y de precisión de ranurado y moldeo.
- Filo de corte estable.
- Disponible en anchos en sistema métrico y sistema imperial.



Rompevirutas GMP

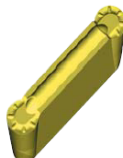
- Plaquitas de ranurado y torneado.
- Disponible en estilos moldeado y esmerilado de precisión.
- Ángulo de inclinación positiva.
- Disponible únicamente en anchos del sistema métrico.



NOTA: Seleccione el avance basándose en el radio de la nariz. Explicación del diagrama: R0,2 - R = radio de esquina; 0,2 = 0,2 mm radio; ver la página D68 para más referencias.

Directrices de profundidad de corte y de avance para las plaquitas de radio completo (A4R...):

Rompevirutas GMN



Profundidad máxima de perfilado y torneado de corte igual a 1/2 del ancho de la plaquita.

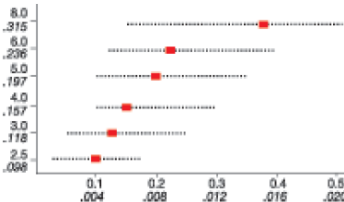
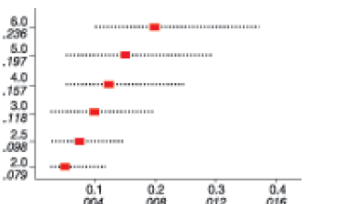
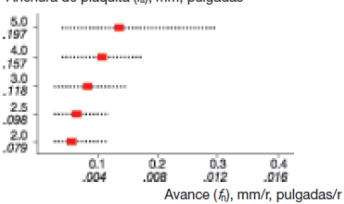
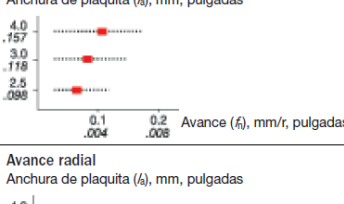
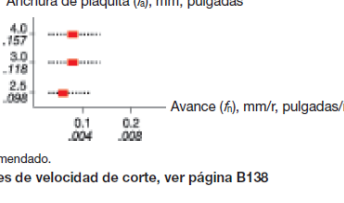
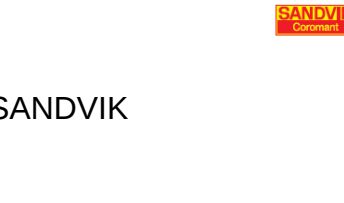
La velocidad máxima de avance de torneado y perfilado depende del material que se va a mecanizar y de la profundidad de corte. Para materiales fáciles de mecanizar, el avance se puede aumentar hasta 1,5 veces.

Rompevirutas GMP



Para realizar un pedido, comuníquese con Kennametal o el distribuidor autorizado de Kennametal, o visite www.kennametal.com.

Anexo G. Plaquetas Tronzado Sandvik

A	TRONZADO Y RANURADO			Recomendaciones de avance y descripciones de geometría
Plaquetas T-Max Q-Cut® 151.2				
Tronzado				
B	 151.2-4E	Avance radial Anchura de plaqueta (f_d), mm, pulgadas  Elección de avance elevado	Primera elección para tronzado de barras Geometría robusta, ideal para cortes intermitentes. Para tronzado de acero y fundición. Buen control de viruta con avance elevado.	
C	 151.2-5E	Avance radial Anchura de plaqueta (f_d), mm, pulgadas  Elección de avance elevado	Primera elección para tronzado de tubos Se recomienda especialmente para tubos de paredes delgadas y componentes de pequeño diámetro en todos los materiales. Para tronzado de acero inoxidable.	
G	 151.2-5F	Avance radial Anchura de plaqueta (f_d), mm, pulgadas  Elección de avance reducido	Optimización para minimizar tetones y rebabas en los componentes gracias a la agudeza de su filo de corte, con una amplia selección de ángulos frontales Recomendada para acero inoxidable, materiales dúctiles y que se endurecen al ser mecanizados.	
H	 151.2-7E	Avance radial Anchura de plaqueta (f_d), mm, pulgadas  Elección de avance reducido	Alternativa para un buen control de viruta con avance bajo. Acción de corte suave. Fuerzas de corte bajas. Genera buen acabado superficial, por el diseño "Wiper". Muy buen control de viruta.	
I	 151.2-9E	Avance radial Anchura de plaqueta (f_d), mm, pulgadas  Elección de avance reducido	Optimizadora para su uso en operaciones de cojinetes de bolas y para materiales de viruta larga. Buen control de viruta que ofrece elevada productividad y mecanizado sin problemas.	
J	 151.2-7E Wiper	Avance radial Anchura de plaqueta (f_d), mm, pulgadas  Elección de avance reducido	■ = Valor de partida recomendado. Para recomendaciones de velocidad de corte, ver página B138	
B 130				
				



Fuente: Catálogo SANDVIK

Datos de corte					A
TRONZADO Y RANURADO					Torneado general
					B
					Torneado y ranurado
					C
					Roscado
					G
					Sistemas portaherramientas
					H
					Mecanizado Multi-Hareas
					I
					CoroTurn® SL
					J
					Información general

TENACIDAD >>>>				
GC1025	GC2135	GC1145	GC235	
0.05-0.5	0.05-0.5	0.05-0.5	0.05-0.5	
235-115 210-90 185-85	205-100 180-75 175-70	200-100 185-75 175-70	165-130 150-120 140-105	
185-85 165-75 135-60	175-80 155-70 125-55	180-85 165-70 130-55	140-110 120-85 95-70	
170-75 120-50	155-70 105-45	160-75 105-45	70-60 45-33	
110-55 130-65 80-45 55-30	105-50 120-60 90-40 50-29	110-50 125-65 85-38 -	100-70 90-55 80-45 100-80	
TENACIDAD >>>>				
GC2135	GC1145	GC235	H13A	
0.05-0.5	0.05-0.5	0.05-0.5	0.05-0.5	
145-65 110-45 120-50	150-60 110-45 125-50	130-100 90-70 100-75	90-70 60-40 70-50	
165-70 105-50 115-55	165-65 110-50 105-50	125-95 75-55 85-65	100-65 50-33 65-45	
135-60 110-50	145-60 115-50	125-95 95-70	- -	
130-60 110-45	140-55 115-45	110-85 70-55	75-60 50-38	
135-60 90-45	145-60 90-45	105-80 65-50	70-45 45-29	
115-55 95-45	120-55 95-45	110-85 85-60	- -	
TENACIDAD >>>>				



B 139

Fuente: Catálogo SANDVIK

Anexo H. Plaquita roscado ACME

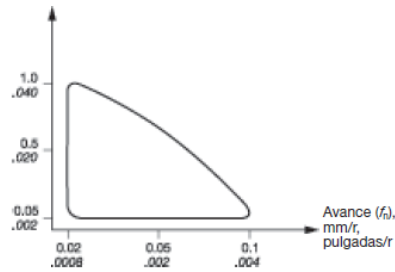
Datos de corte TRONZADO Y RANURADO

Recomendaciones de datos de corte para CoroCut® MB

Torneado

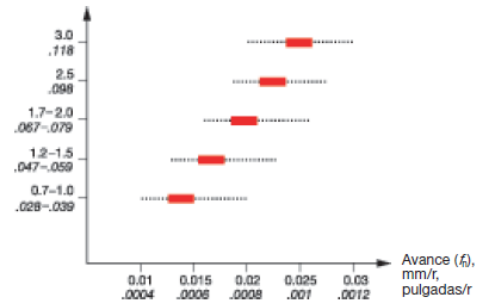
Tamaño de plaquita 07

Profundidad de corte (a_p), mm, pulgadas



Ranurado y ranurado frontal

Anchura de plaquita (a_d), mm, pulgadas



■ = Valor de partida recomendado.

Roscado, (profundidades de pasada recomendadas)

Rosca	Plaquita	a_p mm	a_p pulgadas	n/p
Perfil V 60°	MB-07TH050VM-10R/L	0.33	.013	4
	MB-07TH100VM-10R/L	0.64	.025	5
	MB-07TH150VM-10R/L	0.89	.035	6
	MB-07TH200VM-10R/L	1.19	.047	8
	MB-07TH250VM-10R/L	1.50	.059	10
Métrica 60°	MB-07TH050MM-10R/L	0.33	.013	4
	MB-07TH100MM-10R/L	0.64	.025	5
	MB-07TH150MM-10R/L	0.89	.035	6
	MB-07TH175MM-10R/L	1.07	.042	8
	MB-07TH200MM-10R/L	1.19	.047	8
UN 60°	MB-07TH320UN-10R/L	0.48	.019	4
	MB-07TH280UN-10R/L	0.58	.023	5
	MB-07TH240UN-10R/L	0.66	.026	5
	MB-07TH200UN-10R/L	0.79	.031	6
	MB-07TH180UN-10R/L	0.86	.034	6
Withworth 55°	MB-07TH190WH-10R/L	0.91	.036	6
	MB-07TH140WH-10R/L	1.21	.048	8
	MB-07TH110WH-10R/L	1.54	.061	9
NPT 60°	MB-07TH180NT-10R/L	1.11	.044	8
	MB-07TH140NT-10R/L	1.42	.056	10

a_p = profundidad de rosca total

n/p = número de pasadas

Rosca	Plaquita	a_p mm	a_p pulgadas	n/p
ACME 29°	MB-07TH160AC-11R	0.96	.038	6
	MB-07TH140AC-11R	1.09	.043	7
	MB-07TH120AC-11R	1.24	.049	8
	MB-07TH100AC-11R	1.60	.063	10
	MB-07TH080AC-11R	1.90	.075	12
STUB-ACME 29°	MB-07TH160SA-10R	0.66	.026	5
	MB-07TH140SA-10R	0.74	.029	5
	MB-07TH120SA-10R	0.81	.032	6
	MB-07TH100SA-10R	1.09	.043	7
	MB-07TH080SA-10R	1.27	.050	8

Recomendaciones de velocidad de corte

Velocidad de corte (v_c), m/min (p/min)

Calidad 1025

P

60-200
(185-655)

M

60-180
(195-590)

N

90-400
(295-1310)

S

20-50
(65-165)

Calidad CB7015

H

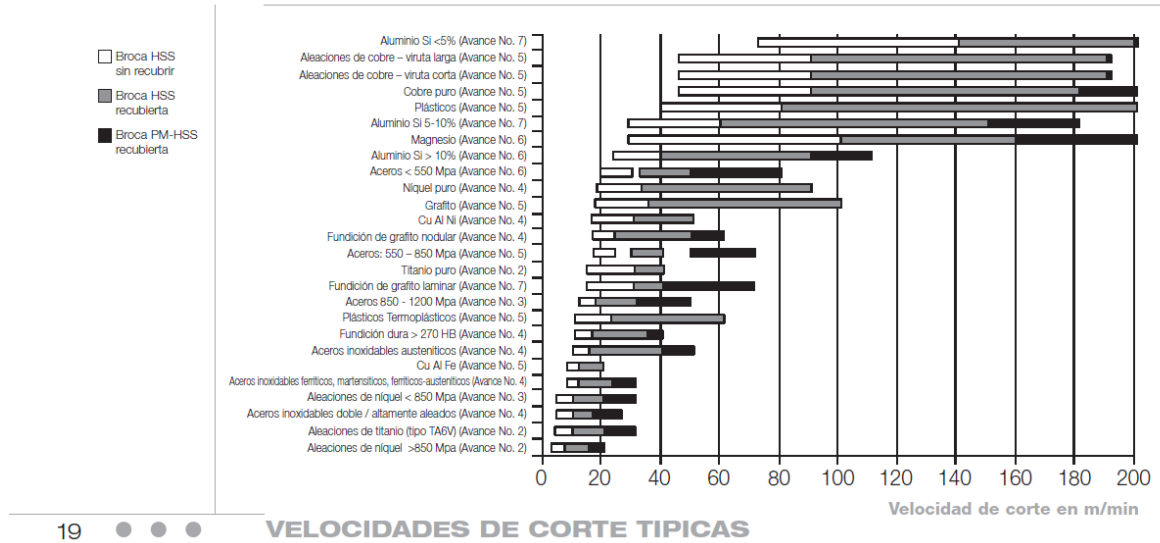
60-200
(200-600)



B 137

Fuente: Catálogo SANDVIK

Anexo I. Operaciones Taladrado Latón y aluminio



VELOCIDADES DE CORTE TÍPICAS

Fuente: Taladro HSS

Ø Broca	Columna de Avance No.								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	F (mm/rev.)								
0,50	0,004	0,006	0,007	0,008	0,010	0,012	0,014	0,016	0,019
1,00	0,006	0,008	0,012	0,014	0,016	0,018	0,020	0,023	0,025
2,00	0,020	0,025	0,032	0,040	0,050	0,063	0,080	0,100	0,125
2,50	0,025	0,032	0,040	0,050	0,063	0,080	0,100	0,125	0,160
3,15	0,032	0,040	0,050	0,063	0,080	0,100	0,125	0,160	0,160
4,00	0,040	0,050	0,063	0,080	0,100	0,125	0,160	0,200	0,200
5,00	0,040	0,050	0,063	0,080	0,100	0,125	0,160	0,200	0,250
6,30	0,050	0,063	0,080	0,100	0,125	0,160	0,200	0,250	0,315
8,00	0,063	0,080	0,100	0,125	0,160	0,200	0,250	0,315	0,315
10,00	0,080	0,100	0,125	0,160	0,200	0,250	0,315	0,400	0,400
12,50	0,080	0,100	0,125	0,160	0,200	0,250	0,315	0,400	0,500
16,00	0,100	0,125	0,160	0,200	0,250	0,315	0,400	0,500	0,630
20,00	0,125	0,160	0,200	0,250	0,315	0,400	0,500	0,630	0,630
25,00	0,160	0,200	0,250	0,315	0,400	0,500	0,630	0,800	0,800
31,50	0,160	0,200	0,250	0,315	0,400	0,500	0,630	0,800	1,000
40,00	0,200	0,250	0,315	0,400	0,500	0,630	0,800	1,000	1,250
50,00	0,250	0,315	0,400	0,500	0,630	0,800	1,000	1,250	1,250
63,00	0,315	0,400	0,500	0,630	0,800	1,000	1,250	1,600	1,600
80,00	0,400	0,500	0,630	0,800	1,000	1,250	1,600	1,600	2,000

20 ● ● ●

AVANCES

Fuente: Taladro HSS

Anexo J. Plaquetas roscado exterior ACME

A

Torneado general

B

Torneado y ranurado

C

Roscado

G

Sistemas portaherramientas

H

Mecanizado Multi-tareas

I

CoroTurn® SL

J

Información general

ROSCADO

Recomendaciones de penetración

ACME (AC), exterior

		Paso, TPI									
		16	14	12	10	8	6	5	4	3	
		x	1,33	1,33	1,33	1,33	1,50	1,37	1,37	0,76	0,64
		z	,052	,052	,052	,052	,059	,054	,054	,030	,021
			1,00	1,10	1,20	1,30	1,50	1,90	2,10	2,40	3,30
			,039	,043	,047	,051	,059	,075	,083	,094	,130
N.º de penetraciones Penetración radial por pasada											
1			0,22	0,20	0,20	0,20	0,20	0,24	0,26	0,28	0,31
			,009	,008	,008	,008	,008	,009	,010	,011	,012
2			0,20	0,19	0,19	0,20	0,20	0,23	0,25	0,28	0,31
			,008	,008	,008	,008	,008	,009	,010	,011	,012
3			0,19	0,18	0,18	0,19	0,19	0,23	0,25	0,27	0,30
			,007	,007	,007	,007	,008	,009	,010	,011	,012
4			0,17	0,17	0,17	0,18	0,18	0,22	0,24	0,26	0,30
			,007	,007	,007	,007	,007	,009	,010	,010	,012
5			0,14	0,15	0,16	0,17	0,18	0,21	0,23	0,26	0,29
			,006	,006	,006	,007	,007	,008	,009	,010	,011
6			0,08	0,13	0,15	0,16	0,17	0,20	0,23	0,25	0,28
			,003	,005	,006	,006	,007	,008	,009	,010	,011
7			0,08	0,13	0,15	0,16	0,16	0,20	0,22	0,24	0,28
			,003	,005	,006	,006	,008	,009	,010	,010	,011
8			0,08	0,14	0,15	0,15	0,19	0,21	0,23	0,25	0,27
				,003	,005	,006	,007	,008	,009	,010	,011
9					0,12	0,14	0,18	0,20	0,22	0,24	0,26
					,005	,006	,007	,008	,009	,010	,011
10					0,08	0,13	0,17	0,19	0,22	0,25	0,28
					,003	,005	,007	,007	,008	,010	,010
11					0,12	0,16	0,18	0,21	0,24	0,27	0,30
					,005	,006	,007	,008	,009	,010	,011
12					0,08	0,14	0,16	0,19	0,23	0,26	0,29
					,003	,005	,006	,008	,009	,010	,011
13					0,10	0,14	0,18	0,21	0,24	0,27	0,30
						,004	,006	,007	,009	,010	,011
14							0,10	0,17	0,21	0,24	0,28
							,004	,007	,008	,009	,010
15								0,15	0,20	0,24	0,28
								,006	,008	,009	,010
16								0,10	0,19	0,23	0,27
								,004	,007	,007	,008
17									0,17	0,21	0,25
									,007	,010	,011
18									0,15	0,20	0,24
									,006	,008	,009
19									0,10	0,19	0,23
									,004	,007	,007
Avance total			0,99	1,10	1,26	1,60	1,91	2,46	2,87	3,51	4,57
			,039	,043	,050	,063	,075	,097	,113	,138	,180

Dimensiones x y z

mm
pulgadas

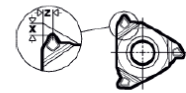
ACME (AC), interior

		Paso, TPI									
		16	14	12	10	8	6	5	4	3	
		x	1,30	1,33	1,33	1,14	1,33	0,92	0,81	0,64	
		z	,051	,051	,054	,054	,050	,052	,036	,032	,021
			0,80	1,00	1,10	1,20	1,50	2,00	2,20	2,40	3,30
			,031	,039	,039	,043	,063	,079	,087	,094	,130
N.º de penetraciones Penetración radial por pasada											
1			0,22	0,21	0,21	0,21	0,21	0,24	0,26	0,29	0,31
			,009	,008	,008	,008	,008	,009	,010	,011	,012
2			0,21	0,20	0,20	0,20	0,20	0,23	0,26	0,28	0,31
			,008	,008	,008	,008	,008	,009	,010	,011	,012
3			0,19	0,19	0,19	0,20	0,20	0,23	0,25	0,27	0,30
			,008	,007	,007	,008	,008	,009	,010	,011	,012
4			0,17	0,17	0,18	0,19	0,19	0,22	0,24	0,27	0,29
			,007	,007	,007	,007	,007	,009	,010	,010	,012
5			0,14	0,16	0,16	0,18	0,18	0,21	0,24	0,26	0,29
			,006	,006	,006	,007	,007	,008	,009	,010	,011
6			0,08	0,13	0,15	0,17	0,17	0,21	0,23	0,25	0,28
			,003	,005	,006	,007	,007	,008	,009	,010	,011
7			0,08	0,13	0,15	0,16	0,17	0,20	0,22	0,24	0,27
			,003	,005	,006	,006	,007	,008	,009	,010	,011
8			0,08	0,14	0,16	0,18	0,19	0,21	0,24	0,27	0,29
			,003	,005	,006	,006	,007	,008	,009	,010	,011
9					0,12	0,15	0,18	0,20	0,22	0,24	0,26
					,005	,006	,007	,008	,009	,010	,011
10					0,08	0,13	0,17	0,19	0,22	0,25	0,28
					,003	,005	,007	,007	,008	,009	,010
11					0,12	0,16	0,18	0,21	0,24	0,27	0,30
					,005	,006	,007	,008	,009	,010	,011
12					0,08	0,14	0,16	0,20	0,23	0,26	0,29
					,003	,006	,008	,009	,010	,011	,012
13					0,10	0,15	0,18	0,21	0,24	0,27	0,30
					,004	,008	,009	,010	,011	,012	,013
14						0,10	0,17	0,21	0,24	0,27	0,30
						,010	,017	,021	,024	,027	,030
15							0,15	0,20	0,24	0,27	0,30
							,006	,008	,009	,010	,011
16							0,10	0,19	0,23	0,27	0,30
							,004	,007	,007	,008	,009
17								0,17	0,21	0,25	0,28
								,007	,010	,011	,012
18								0,15	0,20	0,24	0,28
								,006	,008	,009	,010
19								0,10	0,19	0,23	0,27
								,004	,007	,007	,008
Avance total			1,02	1,14	1,30	1,64	1,96	2,48	2,90	3,54	4,56
			,040	,045	,051	,065	,077	,098	,114	,139	,180

Penetración total = $a_p + 0,05 \text{ mm}$ (0,002 pulgadas)

C 74

Dimensiones x y z



mm
pulgadas

Penetración total = $a_p + 0,05$ mm (0,002 pulgadas)

A	ROSCADO		Datos de corte					
	Recomendaciones de velocidad de corte, valores métricos							
Torneado general	ISO P							
	Núm. MC	N.º CMC	Material	Dureza Brinell HB	Calidades GC1125		GC1135	GC1020
B	P1.1.Z.AN	01.1	Acero no aleado	125	230	205	185	160
	P1.2.Z.AN	01.2	C = 0,1–0,25%	150	195	170	155	130
	P1.3.Z.AN	01.3	C = 0,25–0,55%	170	180	160	145	125
			C = 0,55–0,80%					
	P2.1.Z.AN	02.1	Acero de baja aleación (elementos de aleación ≤5%)	180	155	140	125	115
	P2.1.Z.AN	02.12	No templado	210	145	125	115	105
	P2.5.Z.HT	02.2	Acero para rodamientos de bola	275	120	105	95	80
	P2.5.Z.HT	02.2	Endurecido y templado	350	95	85	75	65
			Endurecido y templado					
	P3.0.Z.AN	03.11	Acero de alta aleación (elementos de aleación >5%)	200	140	120	110	105
P3.0.Z.HT	03.21	Recocido	325	115	100	80	70	
C			Acero de herram. templado					
			Acero fundido					
	P1.5.C.UT	06.1	No aleado	180	220	200	180	170
	P2.6.C.UT	06.2	De baja aleación (elementos de aleación ≤5%)	200	150	130	120	95
	P3.0.C.UT	06.3	Alta aleación (elementos de aleación >5%)	225	120	105	95	85
	P3.2.C.AQ	06.33	Acero al manganeso, 12–14% Mn	250	40	38	35	33
	ISO M							
			Barras/forjadas					
	P5.0.Z.AN	05.11	Ferrítico/martensítico	200	160	145	130	90
	P5.0.Z.PH	05.12	No templado	330	115	100	90	70
P5.0.Z.HT	05.13	Templado PH	330	105	95	85	65	
G			Templado					
			Barras/forjadas					
	M1.0.Z.AQ	05.21	Austenítico	180	140	130	120	75
	M1.0.Z.PH	05.22	Austenítico	330	100	90	80	60
	M2.0.Z.AQ	05.23	Templado PH	200	80	75	70	50
			Super austenítico					
			Acero inoxidable – Barras/forjadas					
	M3.1.Z.AQ	05.51	Austenítico-ferrítico (Dúplex)	230	110	100	90	-
	M3.2.Z.AQ	05.52	No soldables C ≥ 0,05% C	260	90	80	70	-
			Soldable < 0,05% C					
H			Acero inoxidable – Fundido					
	P5.0.C.UT	15.11	Ferrítico/martensítico	200	120	100	90	90
	P5.0.C.UT	15.12	No templado	330	90	80	70	55
	P5.0.C.HT	15.13	Templado PH	330	70	65	60	50
			Templado					
			Acero inoxidable – Fundido					
	M1.0.C.UT	15.21	Austenítico	180	120	110	100	80
	M2.0.C.AQ	15.22	Austenítico	330	70	65	60	50
	M2.0.C.AQ	15.23	Templado PH	200	90	80	70	40
			Acero inoxidable – Fundido					
M3.1.C.AQ	15.51	Austenítico-ferrítico (Dúplex)	230	100	95	85	-	
M3.2.C.AQ	15.52	No soldable ≥ 0,05% C	260	75	70	65	-	
		Soldable < 0,05% C						
I	ISO K							
			Fundición maleable					
	K1.1.C.NS	07.1	Ferrítica (viruta corta)	130	170	150	135	95
		07.2	Perfítica (viruta larga)	230	125	110	100	70
			Fundición gris					
	K2.1.C.UT	08.1	Baja resistencia a la tracción	180	160	140	130	85
	K2.2.C.UT	08.2	Alta resistencia a la tracción	220	140	130	120	80
			Hierro SG nodular					
	K3.1.C.UT	09.1	Ferrítica	160	140	135	125	110
	K3.3.C.UT	09.2	Perfítica	250	110	100	90	80
K3.4.C.UT	09.3	Martensítica	380	80	75	65	60	
J	ISO N							
			Aleaciones de aluminio Forjadas/forjadas y					
	N1.2.Z.UT	30.11	+ trabajadas en frío, no envejecidas Envejecidas	60	500	500	500	500
	N1.2.Z.AG	30.12		100	500	500	500	450
			Aleaciones de aluminio					
	N1.3.C.UT	30.21	Fundida, no envejecida	75	500	500	455	425
	N1.3.C.AG	30.22	Fundición, o fundición y envejecido	90	400	325	280	250
			Aleaciones de aluminio					
	N1.4.C.NS	30.41	Fundidas 13–15% Si	130	300	270	245	210
		30.42	Fundidas 16–22% Si	130	300	270	245	210
K			Cobre y aleaciones de cobre					
	N3.3.U.UT	33.1	Aleaciones de fácil mecanización, ≥1% Pb	110	500	460	420	370
	N3.2.C.UT	33.2	Latón, bronce con plomo, ≤1% Pb	90	300	270	245	210
	N3.1.U.UT	33.3	Bronce y cobre sin plomo, incl. cobre electrolítico	100	210	190	175	150
Información general	C 82		SANDVIK Coromant					

Fuente: Catálogo SANDVIK

Anexo K. Plaquita roscado exterior “Métrica”

A

ROSCADO

Recomendaciones de penetración

Torneado general

B

Trazado y ranurado

C

Roscado

G

Sistemas portaherramientas

H

Mecanizado Multi-tareas

I

CoroTurn® SL

J

Información general

ISO métrica (MM), exterior

		Paso, mm																	
x	z	0,50	0,75	1,00	1,25	1,50	1,75	2,00	2,50	3,00	3,50	4,00	4,50	5,00	5,50	6,00			
		1,32	1,32	1,32	1,32	1,32	1,32	1,32	1,32	1,32	1,67	1,67	1,67	1,38	1,08	0,88			
x	z	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,06	0,06	0,06	0,06	0,04	0,03			
		0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,06	0,06	0,06	0,06	0,04	0,03			
		0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,06	0,06	0,06	0,06	0,04	0,03			
N.º de penetraciones		Penetración radial por pasada																	
1		0,10	0,16	0,16	0,17	0,20	0,17	0,20	0,20	0,20	0,24	0,24	0,27	0,29	0,27	0,30			
2		0,09	0,15	0,15	0,15	0,19	0,17	0,19	0,19	0,19	0,23	0,22	0,25	0,28	0,26	0,29			
3		0,08	0,12	0,14	0,14	0,18	0,16	0,18	0,18	0,19	0,22	0,22	0,24	0,27	0,26	0,29			
4		0,07	0,07	0,12	0,13	0,16	0,15	0,17	0,17	0,18	0,21	0,21	0,23	0,26	0,25	0,28			
5		0,07	0,07	0,12	0,13	0,16	0,15	0,17	0,17	0,18	0,21	0,21	0,23	0,26	0,25	0,28			
6		0,07	0,07	0,12	0,13	0,16	0,15	0,17	0,17	0,18	0,21	0,21	0,23	0,26	0,25	0,28			
7		0,07	0,07	0,12	0,13	0,16	0,15	0,17	0,17	0,18	0,21	0,21	0,23	0,26	0,25	0,28			
8		0,07	0,07	0,12	0,13	0,16	0,15	0,17	0,17	0,18	0,21	0,21	0,23	0,26	0,25	0,28			
9		0,07	0,07	0,12	0,13	0,16	0,15	0,17	0,17	0,18	0,21	0,21	0,23	0,26	0,25	0,28			
10		0,07	0,07	0,12	0,13	0,16	0,15	0,17	0,17	0,18	0,21	0,21	0,23	0,26	0,25	0,28			
11		0,07	0,07	0,12	0,13	0,16	0,15	0,17	0,17	0,18	0,21	0,21	0,23	0,26	0,25	0,28			
12		0,07	0,07	0,12	0,13	0,16	0,15	0,17	0,17	0,18	0,21	0,21	0,23	0,26	0,25	0,28			
13		0,07	0,07	0,12	0,13	0,16	0,15	0,17	0,17	0,18	0,21	0,21	0,23	0,26	0,25	0,28			
14		0,07	0,07	0,12	0,13	0,16	0,15	0,17	0,17	0,18	0,21	0,21	0,23	0,26	0,25	0,28			
15		0,07	0,07	0,12	0,13	0,16	0,15	0,17	0,17	0,18	0,21	0,21	0,23	0,26	0,25	0,28			
16		0,07	0,07	0,12	0,13	0,16	0,15	0,17	0,17	0,18	0,21	0,21	0,23	0,26	0,25	0,28			
Avance total		0,34	0,50	0,65	0,79	0,95	1,11	1,26	1,56	1,88	2,18	2,49	2,79	3,10	3,39	3,70			
		0,013	0,020	0,026	0,031	0,037	0,044	0,050	0,061	0,072	0,086	0,098	0,110	0,122	0,133	0,145			

Dimensiones x y z

mm
pulgadas

ISO métrica (MM), interior

		Paso, mm																	
x	z	0,50	0,75	1,00	1,25	1,50	1,75	2,00	2,50	3,00	3,50	4,00	4,50	5,00	5,50	6,00			
		1,30	1,30	1,30	1,30	1,30	1,30	1,30	1,30	1,64	1,64	1,64	1,35	1,08	0,87	0,67			
x	z	0,051	0,051	0,051	0,051	0,051	0,051	0,051	0,051	0,051	0,065	0,065	0,065	0,063	0,042	0,034			
		0,050	0,050	0,050	0,050	0,050	0,050	0,050	0,050	0,050	0,065	0,065	0,065	0,063	0,042	0,034			
		0,020	0,020	0,031	0,031	0,039	0,047	0,055	0,065	0,071	0,098	0,098	0,098	0,098	0,098	0,094			
N.º de penetraciones		Penetración radial por pasada																	
1		0,10	0,15	0,15	0,16	0,20	0,16	0,19	0,19	0,19	0,22	0,21	0,23	0,26	0,25	0,28			
2		0,09	0,14	0,14	0,15	0,18	0,15	0,18	0,18	0,18	0,21	0,21	0,23	0,26	0,25	0,27			
3		0,08	0,12	0,13	0,14	0,17	0,15	0,17	0,17	0,18	0,20	0,20	0,22	0,25	0,24	0,26			
4		0,07	0,07	0,12	0,13	0,15	0,14	0,16	0,17	0,17	0,20	0,19	0,22	0,24	0,24	0,26			
5		0,07	0,07	0,12	0,13	0,15	0,14	0,16	0,17	0,17	0,20	0,19	0,22	0,24	0,24	0,26			
6		0,07	0,07	0,12	0,13	0,15	0,14	0,16	0,17	0,17	0,20	0,19	0,22	0,24	0,24	0,26			
7		0,07	0,07	0,12	0,13	0,15	0,14	0,16	0,17	0,17	0,20	0,19	0,22	0,24	0,24	0,26			
8		0,07	0,07	0,12	0,13	0,15	0,14	0,16	0,17	0,17	0,20	0,19	0,22	0,24	0,24	0,26			
9		0,07	0,07	0,12	0,13	0,15	0,14	0,16	0,17	0,17	0,20	0,19	0,22	0,24	0,24	0,26			
10		0,07	0,07	0,12	0,13	0,15	0,14	0,16	0,17	0,17	0,20	0,19	0,22	0,24	0,24	0,26			
11		0,07	0,07	0,12	0,13	0,15	0,14	0,16	0,17	0,17	0,20	0,19	0,22	0,24	0,24	0,26			
12		0,07	0,07	0,12	0,13	0,15	0,14	0,16	0,17	0,17	0,20	0,19	0,22	0,24	0,24	0,26			
13		0,07	0,07	0,12	0,13	0,15	0,14	0,16	0,17	0,17	0,20	0,19	0,22	0,24	0,24	0,26			
14		0,07	0,07	0,12	0,13	0,15	0,14	0,16	0,17	0,17	0,20	0,19	0,22	0,24	0,24	0,26			
15		0,07	0,07	0,12	0,13	0,15	0,14	0,16	0,17	0,17	0,20	0,19	0,22	0,24	0,24	0,26			
16		0,07	0,07	0,12	0,13	0,15	0,14	0,16	0,17	0,17	0,20	0,19	0,22	0,24	0,24	0,26			
Avance total		0,34	0,48	0,63	0,77	0,92	1,05	1,20	1,48	1,78	2,03	2,31	2,61	2,88	3,19	3,44			
		0,013	0,019	0,025	0,030	0,036	0,041	0,047	0,058	0,070	0,080	0,091	0,103	0,113	0,126	0,135			

Penetración total = $a_p + 0,05$ mm (0,002 pulgadas)

C 70



Fuente: Catálogo SANDVIK

Anexo L. Plaquita de roscar interno "Métrica"

Roscado KENNA PERFECT™ – TOP NOTCH™



4 pasos sencillos para mejorar su productividad

Información necesaria:

- Operación externa/interna.
- Rotación de husillo/mano de roca.
- Dirección de avance.

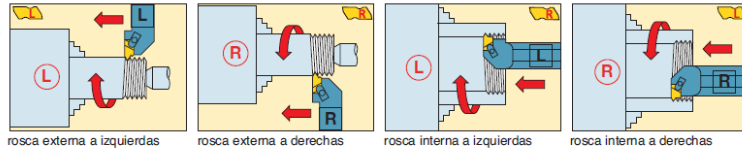
1er paso – Seleccione el método de roscado y la mano de la herramienta

(L) o (R) – mano de la roca

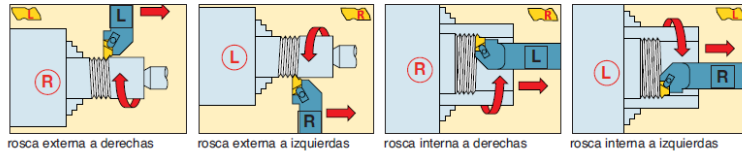
• Dirección de avance hacia el plato – hélice estándar

(L) o (R) – mano del portaherramientas

(L) o (R) – mano de la plaquita



• Dirección de avance alejándose del plato – hélice inversa



2º paso – Seleccione la plaquita para la aplicación

- Consulte las características de las plaquetas de roscado en la página E9.
- Seleccione las plaquetas en cresta para una rosca completamente controlada incluido el control del diámetro. Las plaquetas de cresta eliminan la necesidad de quitar las rebabas.
- Las plaquetas de perfiles parciales sin cresta pueden cortar una gran variedad de pasos de rosca. El control de virutas sólo está disponible con las plaquetas de perfil parcial.
- Anote el tamaño de la plaquita para la selección del portaherramientas.

	tamaño de plaquita	número de catálogo	KC5025	KC5010
	2	NT-2RK	●	●
	3	NT-3RK	●	●
	4	NT-4RK	●	●

3er paso – Seleccione la calidad y la velocidad

Recomendaciones para la selección de la calidad y velocidad – sfm (m/min)

	Material de la pieza	Acero	Acero inoxidable	Fundición	Metales no férreos	Aleaciones de alta temperatura
	Tipo de plaquita	control de virutas o neutro	control de virutas o positivo	neutro	positivo	positivo
KENNA PERFECT	Óptimo Corte Condiciones	KC5010 160 - 750 (50 - 230)	KC5010 160 - 600 (50 - 185)	KC5010 230 - 700 (70 - 210)	KC5410 230 - 1300 (70 - 390)	KC5010 65 - 400 (20 - 120)
	Primera elección	KC5025 130 - 650 (40 - 200)	KC5025 130 - 450 (40 - 135)	KC5025 200 - 475 (60 - 145)	KC5025 160 - 1150 (50 - 360)	KC5025 35 - 330 (10 - 100)

* Nota: También disponible como una excelente herramienta de corte para acero y acero inoxidable para el roscado de perfil parcial. Aumente la velocidad en un 15% con respecto a las recomendaciones anteriores.

Ejemplos: Control de virutas: NT-K o NT-CK (sólo perfil parcial)
Neutro: NT, NT-C, NT-F, NTC, NJ, NJ-F, NDC-V, NA, NDC, NTB-A/B
Positivo: NTP, NTK, NJP, NJK

E6 Para realizar un pedido, comuníquese con Kennametal o el distribuidor autorizado de Kennametal, o visite www.kennametal.com.

Fuente: Catálogo KENNAMETAL

Datos técnicos de roscado



Tablas de avances

ISO métrico, corte de roscas externo

paso de rosca P (mm)	0,50	0,75	1,00	1,25	1,50	1,75	2,00	2,50	3,00	3,50	4,00	4,50	5,00
profundidad h3	0,307	0,460	0,613	0,767	0,920	1,074	1,227	1,534	1,840	2,147	2,454	2,760	3,067
nº. de pasadas	4	4	5	6	6	8	8	10	12	14	15	15	16
valor del avance radial (X) y del avance de flanco (X/Z)													
orden de las pasadas	X/Z	X/Z	X/Z	X/Z	X/Z	X/Z	X/Z	X/Z	X/Z	X/Z	X/Z	X/Z	X/Z
1	0,117/-	0,176/-	0,195/-	0,206/-	0,248/-	0,216/-	0,247/-	0,238/-	0,223/-	0,204/-	0,205/-	0,231/-	0,226/-
2	0,078/0,045	0,118/0,068	0,140/0,081	0,160/0,092	0,192/0,111	0,194/0,112	0,222/0,128	0,248/0,143	0,272/0,157	0,294/0,170	0,324/0,187	0,362/0,211	0,391/0,227
3	0,060/0,035	0,090/0,052	0,108/0,062	0,123/0,071	0,147/0,085	0,149/0,086	0,170/0,098	0,190/0,110	0,209/0,120	0,225/0,130	0,249/0,144	0,280/0,162	0,301/0,174
4	0,052/0,029	0,076/0,044	0,090/0,052	0,104/0,060	0,124/0,072	0,126/0,073	0,144/0,083	0,161/0,093	0,176/0,102	0,190/0,110	0,210/0,121	0,236/0,136	0,254/0,147
5			0,080/0,046	0,091/0,053	0,110/0,063	0,111/0,064	0,126/0,073	0,141/0,082	0,155/0,089	0,167/0,097	0,185/0,107	0,208/0,120	0,224/0,129
6				0,083/0,048	0,099/0,057	0,100/0,058	0,114/0,066	0,128/0,074	0,140/0,081	0,151/0,087	0,167/0,096	0,188/0,108	0,202/0,117
7					0,092/0,053	0,105/0,061	0,118/0,068	0,129/0,074	0,139/0,080	0,154/0,089	0,173/0,100	0,186/0,107	
8					0,087/0,049	0,099/0,057	0,109/0,063	0,120/0,069	0,129/0,075	0,143/0,083	0,161/0,093	0,173/0,100	
9							0,103/0,059	0,113/0,065	0,122/0,070	0,134/0,078	0,151/0,087	0,163/0,094	
10							0,098/0,056	0,106/0,061	0,115/0,066	0,127/0,073	0,143/0,082	0,154/0,089	
11								0,101/0,058	0,109/0,063	0,121/0,070	0,136/0,078	0,146/0,084	
12								0,105/0,060	0,115/0,067	0,130/0,075	0,140/0,081	0,150/0,086	
13									0,100/0,058	0,111/0,064	0,125/0,072	0,134/0,077	
14									0,097/0,056	0,107/0,061	0,120/0,069	0,129/0,074	
15											0,102/0,059	0,116/0,067	0,124/0,072
16													0,120/0,069

ISO métrico, corte de rosca interno

paso de rosca P (mm)	0,50	0,75	1,00	1,25	1,50	1,75	2,00	2,50	3,00	3,50	4,00	4,50	5,00
profundidad h1	0,271	0,406	0,541	0,677	0,812	0,947	1,083	1,353	1,624	1,894	2,165	2,436	2,706
nº. de pasadas	4	4	5	6	6	8	8	10	11	12	14	15	16
valor del avance radial (X) y del avance de flanco (X/Z)													
orden de las pasadas	X/Z	X/Z	X/Z	X/Z	X/Z	X/Z	X/Z	X/Z	X/Z	X/Z	X/Z	X/Z	X/Z
1	0,108/-	0,162/-	0,182/-	0,196/-	0,235/-	0,212/-	0,243/-	0,243/-	0,263/-	0,277/-	0,261/-	0,269/-	0,277/-
2	0,067/0,039	0,102/0,058	0,120/0,069	0,137/0,079	0,165/0,095	0,166/0,096	0,190/0,110	0,213/0,123	0,243/0,140	0,272/0,157	0,288/0,166	0,313/0,180	0,336/0,194
3	0,052/0,030	0,077/0,045	0,092/0,053	0,105/0,061	0,126/0,073	0,128/0,074	0,146/0,084	0,163/0,094	0,187/0,108	0,209/0,120	0,221/0,127	0,240/0,138	0,258/0,149
4	0,044/0,025	0,065/0,038	0,078/0,045	0,089/0,051	0,107/0,062	0,108/0,062	0,123/0,071	0,138/0,079	0,157/0,091	0,176/0,102	0,186/0,107	0,202/0,117	0,219/0,126
5			0,069/0,040	0,078/0,045	0,094/0,054	0,095/0,055	0,108/0,063	0,121/0,070	0,139/0,080	0,155/0,089	0,164/0,095	0,178/0,103	0,192/0,111
6				0,072/0,041	0,085/0,049	0,086/0,050	0,098/0,057	0,110/0,063	0,125/0,072	0,140/0,081	0,148/0,086	0,161/0,093	0,173/0,100
7						0,079/0,046	0,090/0,052	0,101/0,058	0,115/0,067	0,129/0,074	0,136/0,079	0,148/0,086	0,159/0,092
8						0,073/0,042	0,084/0,048	0,094/0,054	0,107/0,062	0,120/0,069	0,127/0,073	0,138/0,080	0,148/0,086
9								0,088/0,051	0,101/0,058	0,113/0,065	0,119/0,069	0,129/0,075	0,139/0,080
10								0,082/0,048	0,095/0,055	0,106/0,061	0,113/0,065	0,122/0,071	0,132/0,076
11									0,092/0,052	0,101/0,058	0,107/0,062	0,116/0,067	0,125/0,072
12										0,087/0,056	0,102/0,059	0,111/0,064	0,120/0,069
13											0,098/0,057	0,107/0,062	0,115/0,066
14											0,095/0,055	0,103/0,059	0,111/0,064
15												0,099/0,057	0,107/0,062
16													0,103/0,060

E68 Para realizar un pedido, comuníquese con Kennametal o el distribuidor autorizado de Kennametal, o visite www.kennametal.com.

Fuente: Catálogo KENNAMETAL

E10 Para realizar un pedido, comuníquese con Kennametal o el distribuidor autorizado de Kennametal, o visite www.kennametal.com.

ANEXOS

PLANOS

Los anexos correspondientes a los planos se encuentran en la carpeta adjunta con el nombre ANEXOS PLANOS en el CD que se entrega a la biblioteca.

Son tres archivos en formato PDF:

- **Explosión del banco de pruebas:** en él se puede observar el montaje de los equipos que conforman el banco de pruebas que se adaptó para las pruebas hidrostáticas en tubería petrolera.
- **Explosión del prototipo de bomba:** en él se puede observar cada uno de los elementos que integran el ensamble del prototipo de bomba manual de desplazamiento positivo.
- **Elementos que conforman el prototipo:** en él se puede observar las características geométricas de los elementos que se diseñaron para el prototipo de bomba.