

UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO USFQ

Colegio de Ciencias e Ingenierías

**Máquina de Fundición Centrífuga de Babbitt para Cojinetes de
Lubricación**

Jackson Alcívar Mora

Nicolás Eduardo Ortiz Guerrero

Fernando Sebastián Acurio Idrovo

Mario André Cevallos Lozada

Ingeniería Mecánica

Trabajo de fin de carrera presentado como requisito
para la obtención del título de
INGENIERO MECÁNICO

Quito, 12 de Mayo de 2025

UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO USFQ

Colegio de Ciencias e Ingenierías

**HOJA DE CALIFICACIÓN
DE TRABAJO DE FIN DE CARRERA**

**Máquina de fundición centrífuga de Babbitt para cojinetes de
lubricación**

Jackson Alcívar Mora

Nicolás Eduardo Ortiz Guerrero

Fernando Sebastián Acurio Idrovo

Mario André Cevallos Lozada

Nombre del profesor, Título académico

Alfredo Valarezo, PhD

Quito, 12 de Mayo de 2025

© DERECHOS DE AUTOR

Por medio del presente documento certifico que he leído todas las Políticas y Manuales de la Universidad San Francisco de Quito USFQ, incluyendo la Política de Propiedad Intelectual USFQ, y estoy de acuerdo con su contenido, por lo que los derechos de propiedad intelectual del presente trabajo quedan sujetos a lo dispuesto en esas Políticas.

Asimismo, autorizo a la USFQ para que realice la digitalización y publicación de este trabajo en el repositorio virtual, de conformidad a lo dispuesto en la Ley Orgánica de Educación Superior del Ecuador.

Nombres y apellidos: Jackson Alcívar Mora

Código: 0213143

Cédula de identidad: 0802829010

Lugar y fecha: Quito, 14 de marzo de 2025

© DERECHOS DE AUTOR

Por medio del presente documento certifico que he leído todas las Políticas y Manuales de la Universidad San Francisco de Quito USFQ, incluyendo la Política de Propiedad Intelectual USFQ, y estoy de acuerdo con su contenido, por lo que los derechos de propiedad intelectual del presente trabajo quedan sujetos a lo dispuesto en esas Políticas.

Asimismo, autorizo a la USFQ para que realice la digitalización y publicación de este trabajo en el repositorio virtual, de conformidad a lo dispuesto en la Ley Orgánica de Educación Superior del Ecuador.

Nombres y apellidos: Nicolás Eduardo Ortiz Guerrero

Código: 00322074

Cédula de identidad: 1719989269

Lugar y fecha: Quito, 14 de marzo de 2025

© DERECHOS DE AUTOR

Por medio del presente documento certifico que he leído todas las Políticas y Manuales de la Universidad San Francisco de Quito USFQ, incluyendo la Política de Propiedad Intelectual USFQ, y estoy de acuerdo con su contenido, por lo que los derechos de propiedad intelectual del presente trabajo quedan sujetos a lo dispuesto en esas Políticas.

Asimismo, autorizo a la USFQ para que realice la digitalización y publicación de este trabajo en el repositorio virtual, de conformidad a lo dispuesto en la Ley Orgánica de Educación Superior del Ecuador.

Nombres y apellidos: Fernando Sebastián Acurio Idrovo

Código: 00323391

Cédula de identidad: 1804771937

Lugar y fecha: Quito, 14 de marzo de 2025

© DERECHOS DE AUTOR

Por medio del presente documento certifico que he leído todas las Políticas y Manuales de la Universidad San Francisco de Quito USFQ, incluyendo la Política de Propiedad Intelectual USFQ, y estoy de acuerdo con su contenido, por lo que los derechos de propiedad intelectual del presente trabajo quedan sujetos a lo dispuesto en esas Políticas.

Asimismo, autorizo a la USFQ para que realice la digitalización y publicación de este trabajo en el repositorio virtual, de conformidad a lo dispuesto en la Ley Orgánica de Educación Superior del Ecuador.

Nombres y apellidos: Mario André Cevallos Lozada

Código: 00322321

Cédula de identidad: 1725755779

Lugar y fecha: Quito, 14 de marzo de 2025

ACLARACIÓN PARA PUBLICACIÓN

Nota: El presente trabajo, en su totalidad o cualquiera de sus partes, no debe ser considerado como una publicación, incluso a pesar de estar disponible sin restricciones a través de un repositorio institucional. Esta declaración se alinea con las prácticas y recomendaciones presentadas por el Committee on Publication Ethics COPE descritas por Barbour et al. (2017) Discussion document on best practice for issues around theses publishing, disponible en <http://bit.ly/COPETheses>.

UNPUBLISHED DOCUMENT

Note: The following capstone project is available through Universidad San Francisco de Quito USFQ institutional repository. Nonetheless, this project – in whole or in part – should not be considered a publication. This statement follows the recommendations presented by the Committee on Publication Ethics COPE described by Barbour et al. (2017) Discussion document on best practice for issues around these publishing available on <http://bit.ly/COPETheses>.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a mis padres Karina y Jackson, por su apoyo y soporte constante en cada paso de mi carrera, por motivarme a seguir adelante y por su esfuerzo para brindarme siempre las mejores oportunidades. Su apoyo, amor y confianza me motivan día a día a seguir adelante y a convertirme en la persona que me he convertido.

A mi hermana Camila por su apoyo incondicional durante mi etapa de estudios, por su compañía y soporte durante todo nuestro tiempo juntos en nuestra etapa universitaria.

A mi abuela Nelly por ser mi motivación para seguir adelante, para que pudieses verme graduado de ingeniero.

A mis tíos Carmita y Thelmo por su constante apoyo y preocupación de durante mi vida universitaria, y por la motivación que siempre me brindaron.

A mi abuela Marlene por su apoyo y preocupación durante mi etapa universitaria.

A mi novia Margarita por su soporte y preocupación durante mi etapa final de la universidad.

A mis amigos con quien realicé exitosamente este proyecto de tesis.

Y a Dios por permitirme tener salud y a mis seres amados durante esta etapa de mi vida, y por darme las fuerzas para salir adelante.

Jackson Rubén Alcívar Mora

AGRADECIMIENTOS

A mi familia, gracias por su apoyo incondicional. A mis padres Carlos y Genith, gracias por sus enseñanzas y guiarme a siempre a tomar decisiones que me han ayudado a crecer como profesional y persona. Su ejemplo ha hecho que sea mejor de lo que nunca me imagine.

A mi hermana Daniela, gracias por siempre acompañar y motivarme constantemente. Tu apoyo siempre me ha empujado a salir adelante.

A mis abuelitos, Simona, Anita, Flores y Mario, gracias por las enseñanzas y los valores que me han inculcado y transmitido a lo largo de mi vida. Son una parte importante de mí que siempre me da fuerzas de seguir adelante.

A mis amigos, gracias por siempre estar. Gracias por la compañía y momentos de esparcimiento. Han hecho que estos años estén llenos de momentos que siempre recordare.

Nicolás Eduardo Ortiz Guerrero.

AGRADECIMIENTOS

Este logro tan importante no habría sido posible sin el acompañamiento y el cariño de quienes han estado a mi lado en cada paso del camino.

A mis padres, Fernando y Jazmina, gracias por enseñarme el valor de la perseverancia y la dedicación. Por ser mi ejemplo constante, por guiarme con sabiduría y por motivarme siempre a dar lo mejor de mí.

A mis hermanas y a mi sobrino, Daniela, Martina y José Emiliano, por estar presentes en cada etapa del proceso. Su apoyo incondicional me dio la fuerza necesaria para continuar, incluso en los momentos más difíciles.

A mis amigos, por ser esa familia elegida que ha estado conmigo en cada batalla. Gracias por las risas, los consejos y los recuerdos compartidos que hicieron más llevadero este camino.

Fernando Sebastián Acurio Idrovo.

AGRADECIMIENTOS

A Dios, por darme la oportunidad en esta vida de estudiar y de mostrar mi talento al mundo y a mí mismo. Gracias por nunca soltarme y bendecirme con mi familia.

A mis padres, Edwin y Cristina: a mi padre, por enseñarme el valor del trabajo duro y de la disciplina, así como hacerme sentir orgulloso de mis orígenes y de quién soy; y a mi madre, quien me ha enseñado lo que es el amor verdadero e incondicional y ha estado siempre a mi lado, pese a todo. A mi hermana Cris, por ser mi mejor amiga y mi cómplice en esta vida. Tu dulzura y fortaleza me motivan cada día a ser mejor y mantenerme firme ante las adversidades. Gracias por su apoyo incondicional y su cariño infinito. Esto también es de ustedes. Los amo.

A mis abuelos, Néstor y Mario, por introducirme al mundo de la mecánica y por enseñarme la virtud del trabajo honrado. A mis abuelitas, Raquel y Ángela, por su dulzura característica y su gran amor incondicional.

A mi tío Rubén y mi tía Sandy, por ser mis segundos padres y por su apoyo incondicional en todo momento, pese a la distancia siempre los tengo en mi corazón.

Finalmente, quisiera agradecerme a mí mismo: por confiar en mí, por hacer todo el trabajo duro, por nunca rendirme pese a las adversidades, y por ser yo mismo en todo momento.

Mario André Cevallos Lozada.

RESUMEN

El presente proyecto tiene como objetivo diseñar y construir una máquina de fundición centrífuga horizontal para el recubrimiento de cojinetes con aleación de Babbitt. La motivación principal radica en ofrecer una alternativa local y económica para este proceso, el cual representa un nicho en la industria nacional. Actualmente, la solución común suele ser reemplazar el cojinete o enviarlo al exterior, lo que incrementa costos y tiempos de operación. Por tanto, este proyecto plantea una solución práctica que permite realizar el recubrimiento interno de los cojinetes de forma controlada.

El diseño de la máquina consideró criterios ingenieriles clave como estabilidad estructural, facilidad de operación, control de variables críticas (velocidad de rotación, calentamiento y enfriamiento) y facilidad de mantenimiento. Se fabricó un prototipo robusto, capaz de trabajar con cojinetes de 4, 6 y 8 pulgadas de diámetro, replicando condiciones reales del proceso industrial. Las pruebas de recubrimiento se realizaron con éxito, logrando aplicar la aleación de Babbitt sobre los tres cojinetes. La adherencia al material base y la continuidad del recubrimiento se evaluaron mediante inspección visual, medición dimensional y análisis micrográfico. No obstante, en los cojinetes de mayor diámetro se observó baja uniformidad en el espesor del recubrimiento, con variaciones superiores a 3 mm, lo que limita la calidad del proceso. Esto sugiere que existen problemas de vibraciones durante la operación, afectando la distribución del material fundido. Se emite sugerencias para evitar que este efecto comprometa la durabilidad del equipo.

ABSTRACT

This project aims to design and construct a horizontal centrifugal casting machine for the coating of bearings with Babbitt alloy. The main motivation lies in the need to offer a local and cost-effective alternative for this type of process, which currently represents a small niche in the national industry. In many cases, the conventional solution involves replacing the bearing or sending it abroad for coating, significantly increasing operational costs and time. This project proposes a practical solution that enables the coating process to be carried out internally and under controlled conditions.

The design of the machine considered key engineering criteria such as structural stability, ease of operation, control of critical variables (such as rotation speed, heating, and cooling), and ease of maintenance. A robust prototype was built with the capacity to work with bearings of 4, 6, and 8 inches in diameter, replicating real industrial process conditions. Coating tests were successfully carried out, applying the Babbitt alloy to all three bearings. Adhesion to the substrate and coating continuity were evaluated through visual inspection, dimensional measurement, and micrographic analysis. However, in the larger diameter bearings, a lack of uniformity in the coating thickness was observed, with variations exceeding 3 mm, which presents a limitation in terms of process quality. These results suggest that the machine is affected by vibrations during operation, which impacts the distribution of the molten material. In the future work section, suggestions are made to reduce the compromises of the vibration to the long-term durability and mechanical performance of the equipment.

INDICE GENERAL

RESUMEN	9
ABSTRACT.....	10
INDICE GENERAL	11
ÍNDICE DE TABLAS	13
ÍNDICE DE FIGURAS	14
INTRODUCCIÓN	17
ASUNTOS CONTEMPORANEOS	21
CRITERIOS INGENIERILES Y ESPECIFICACIONES TÉCNICAS	26
REVISIÓN LITERARIA.....	28
CONCEPTOS DE DISEÑO Y SELECCIÓN	31
Selección del diseño del sistema de rotación	31
Selección del método de sujeción	34
Selección del sistema de precalentamiento.....	36
GESTIÓN DE PROYECTO	40
ESTÁNDARES DE INGENIERÍA	42
SELECCIÓN DE MATERIALES Y COMPONENTES	46
PLAN DE MANUFACTURA.....	48
REPORTE DE DISEÑO.....	71
Subsistemas y subcomponentes	72
Hoja de procesos	77
Problemas de Diseño	78
ANÁLISIS DE INGENIERÍA.....	79
Cálculos analíticos	79
Simulaciones.....	103
Experimentos	131
PLAN DE PRUEBAS DEL PROTOTIPO	137
SEGURIDAD A TRAVÉS DEL DISEÑO Y ANÁLISIS BASADO EN RIESGOS	139
RESULTADOS PRINCIPALES Y DISCUSIÓN	144
Prueba de recubrimiento	144
Evaluación del espesor de los recubrimientos	148
Resultados de vibraciones.....	154
Resultados de análisis micrográfico	157

CONCLUSIONES	161
TRABAJO FUTURO	163
REFERENCIAS.....	164
ANEXO A: EVALUACIÓN PONDERADA DE LAS ALTERNATIVAS	167
ANEXO B: MANUAL DE OPERACIÓN	171
ANEXO C: MANUAL DE MANTENIMIENTO.....	213
ANEXO D: PLANOS DEL ENSAMBLE.....	228

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla #1. Criterios ingenieriles del proyecto	26
Tabla #2. Especificaciones técnicas del proyecto	27
Tabla #3. Alternativas para el diseño del sistema de rotación.....	31
Tabla #4. Resultados de ponderación para el diseño del sistema de rotación.....	33
Tabla #5. Alternativas para el diseño del sistema de sujeción.....	34
Tabla #6. Resultados para el diseño del sistema de sujeción.....	36
Tabla #7. Alternativas para el diseño del sistema de calentamiento	37
Tabla #8. Resultados para el diseño del sistema de calentamiento	38
Tabla #9. Gastos divididos en categorías.....	40
Tabla #10. Gastos desglosados.....	41
Tabla #11. Listado de piezas a fabricar	48
Tabla #12. Cronograma de construcción	49
Tabla #13. Hoja de Procesos Colador de Babbitt.....	62
Tabla #14. Hoja de Procesos Bastidor	63
Tabla #15. Hoja de Procesos Acople Motor-Polea	64
Tabla #16. Hoja de Procesos Cubierta de Seguridad	65
Tabla #17. Hoja de Procesos Base Colador.....	66
Tabla #18. Hoja de Procesos Tapa Selladora Circular de Cojinete	67
Tabla #19. Hoja de Procesos Sistema de sujeción de Tapa Selladora Circular de Cojinete..	68
Tabla #20. Hoja de Procesos Tanque de Agua (Sistema de refrigeración)	69
Tabla #21. Hoja de Procesos Extensión soporte de Colador	70
Tabla #22. Propiedades del acero	80
Tabla #23. Propiedades de los pernos y el acople	93
Tabla #24. Propiedades del acero A-36	104
Tabla #25. Propiedades de los pernos clase de propiedad 12.9	108
Tabla #26. Valores tabulados para la curva S-N del perno grado 12.9	111
Tabla #27. Propiedades del acero AISI 1018.....	112
Tabla #28. Valores tabulados para la curva S-N del acero AISI 1018	113
Tabla #29. Propiedades aproximadas de Babbitt para simulación en ANSYS	124
Tabla #30. Tabla X1.1 de la norma ASTM B23-20	136
Tabla #31. Clasificación de clase de vibraciones según el tipo de máquina	157

ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura #1. Esquema de una máquina de fundición centrífuga (Royer & Vasseur, 1988)</i>	<i>29</i>
<i>Figura #2. Cojinetes antifricción (Comas, 2011)</i>	<i>29</i>
<i>Figura #3. Micrografía del Babbitt (Shaanxi World Iron & Steel Co., 2020)</i>	<i>30</i>
<i>Figura #4. Imagen referencial de IA del motor conectado al reductor</i>	<i>31</i>
<i>Figura #5. Diseño CAD de la rotación con bandas</i>	<i>32</i>
<i>Figura #6. Diseño CAD de la conexión directa del eje del motor</i>	<i>32</i>
<i>Figura #7. Modelo del Mandril</i>	<i>34</i>
<i>Figura #8. Imagen referencial de IA de la abrazadera de sujeción con medialuna</i>	<i>35</i>
<i>Figura #9. Modelo CAD del diseño propio</i>	<i>35</i>
<i>Figura #10. Imagen referencial de IA del gas GLP</i>	<i>37</i>
<i>Figura #11. Imagen referencial de IA de la inducciónn magnética</i>	<i>37</i>
<i>Figura #12. Imagen referencial de IA de la resistencia eléctrica</i>	<i>38</i>
<i>Figura #13. Diagrama de Gantt</i>	<i>40</i>
<i>Figura #14. Simbología de Diagrama de Procesos</i>	<i>50</i>
<i>Figura #15. Diagrama de Procesos Colador de Babbitt</i>	<i>51</i>
<i>Figura #16. Diagrama de Procesos Bastidor</i>	<i>52</i>
<i>Figura #17. Diagrama de Procesos Acople Motor-Polea</i>	<i>53</i>
<i>Figura #18. Diagrama de Procesos Cubierta de Seguridad</i>	<i>54</i>
<i>Figura #19. Diagrama de Procesos Base de Colador</i>	<i>55</i>
<i>Figura #20. Diagrama de Procesos Tapa Selladora Circular de Cojinete</i>	<i>56</i>
<i>Figura #21. Diagrama de Procesos Sistema de sujeción de Tapa Selladora Circular de Cojinete</i>	<i>57</i>
<i>Figura #22. Diagrama de Procesos Tanque de agua (Sistema de enfriamiento)</i>	<i>58</i>
<i>Figura #23. Diagrama de Procesos Extensión de soporte para Colador</i>	<i>59</i>
<i>Figura #24. Diagrama de Procesos Ensamble General de la máquina</i>	<i>60</i>
<i>Figura #25. Fundidora centrífuga construida</i>	<i>71</i>
<i>Figura #26. Plano de conjunto</i>	<i>72</i>
<i>Figura #27. Mesa con plancha y parrilla instalada previo al ensamble con el sistema de transmisión</i>	<i>73</i>
<i>Figura #28. Cojinete sujetado con el mandril</i>	<i>74</i>
<i>Figura #29. Cojinete sujetado con el mandril</i>	<i>75</i>
<i>Figura #30. Antorcha prendida precalentando el tubo</i>	<i>75</i>
<i>Figura #31. Sistema de enfriamiento</i>	<i>76</i>
<i>Figura #32. Cubierta de seguridad y Colador</i>	<i>77</i>
<i>Figura #33. Hoja de ruta de diseño</i>	<i>77</i>
<i>Figura #34. Diagrama de cilindro usado para el recubrimiento</i>	<i>79</i>
<i>Figura #35. Vista frontal del acople</i>	<i>84</i>
<i>Figura #36. Vista Lateral del acople</i>	<i>85</i>
<i>Figura #37. Vista Lateral eje de Polea</i>	<i>86</i>
<i>Figura #38. Eje y sus distancias a los apoyos</i>	<i>87</i>
<i>Figura #39. Representación en forma de viga</i>	<i>88</i>
<i>Figura #40. Diagrama de cortante del eje</i>	<i>89</i>
<i>Figura #41. Diagrama de momento del eje</i>	<i>89</i>
<i>Figura #42. Diagrama de resistencias en el espesor del cilindro</i>	<i>99</i>
<i>Figura #43. Condiciones de borde y mallado sobre el bastidor</i>	<i>103</i>
<i>Figura #44. Esfuerzos de Von Mises sobre el bastidor</i>	<i>104</i>

Figura #45. Deformación del bastidor	105
Figura #46. Factor de seguridad del bastidor.....	106
Figura #47. Ubicación de los pernos dentro de la máquina	107
Figura #48. Condiciones de borde sobre el perno	107
Figura #49. Mallado sobre el perno.....	108
Figura #50. Esfuerzo de Von Mises sobre el perno.....	109
Figura #51. Deformación total sobre el perno.....	109
Figura #52. Factor de seguridad estático del perno	110
Figura #53. Factor de seguridad dinámico del perno.....	111
Figura #54. Ubicación de la chaveta motriz	113
Figura #55. Ubicación de la chaveta de la polea conducida	114
Figura #56. Condiciones de borde sobre la chaveta motriz.....	114
Figura #57. Mallado sobre la chaveta motriz	115
Figura #58. Condiciones de borde sobre la chaveta conducida	115
Figura #59. Mallado sobre la chaveta conducida.....	116
Figura #60. Esfuerzos de Von Mises sobre la chaveta motriz.....	116
Figura #61. Esfuerzos de Von Mises sobre la chaveta conducida	117
Figura #62. Deformación total sobre la chaveta motriz	117
Figura #63. Deformación total sobre la chaveta conducida	118
Figura #64. Factor de seguridad dinámico de la chaveta motriz	119
Figura #65. Factor de seguridad dinámico de la chaveta conducida	119
Figura #66. Ubicación del eje dentro de la máquina.....	120
Figura #67. Condiciones de borde sobre el eje	121
Figura #68. Mallado sobre el eje	121
Figura #69. Esfuerzos de Von Mises sobre el eje.....	122
Figura #70. Deformación total sobre el eje.....	122
Figura #71. Ubicación del tubo de colada dentro de la máquina.....	123
Figura #72. Mallado del tubo analizado en Ansys Fluent.....	124
Figura #73. Resultado de Presión interna a 0.3 m/s	125
Figura #74. Resultado de Presión interna a 0.5 m/s	126
Figura #75. Resultado de Presión interna a 0.7 m/s	126
Figura #76. Resultado de Velocidad interna a 0.3 m/s	127
Figura #77. Resultado de Velocidad interna a 0.5 m/s	128
Figura #78. Resultado de Velocidad interna a 0.7 m/s	128
Figura #79. Resultado de Temperatura interna a 0.3 m/s.....	129
Figura #80. Resultado de Temperatura interna a 0.5 m/s.....	130
Figura #81. Resultado de Temperatura interna a 0.7 m/s.....	130
Figura #82. Fundición de Babbitt	132
Figura #83. Montaje de la muestra de Babbitt.....	133
Figura #84. Muestra montada de Babbitt en resina	134
Figura #85. Resultado de la prueba de dureza.....	135
Figura #86. Escala de ponderación de Prioridad	140
Figura #87. Análisis de Riesgos presentes 1	141
Figura #88. Análisis de Riesgos presentes 2	141
Figura #89. Tubo recubierto de 6 in. maquinado en el torno	144
Figura #90. Capa de Babbitt levantada en tubo de 6 in.....	145
Figura #91. Tubo recubierto de 8 in. maquinado en el torno	146
Figura #92. Tubo recubierto de 4 in. maquinado en el torno	147

<i>Figura #93. Deformación en función del desplazamiento angular a lo largo del tubo de 4 in</i>	149
<i>Figura #94. Deformación en función del desplazamiento angular a lo largo del tubo de 6 in</i>	150
<i>Figura #95. Deformación en función del desplazamiento angular a lo largo del tubo de 8 in</i>	151
<i>Figura #96. Deformación en función del desplazamiento de los 3 tubos.....</i>	153
<i>Figura #97. Espectro de frecuencias durante la operación de la fundidora.....</i>	155
<i>Figura #99. Muestra de recubrimiento de babbitt montada en resina.....</i>	158
<i>Figura #100. Zona de transición entre acero y Babbitt 200X.....</i>	159
<i>Figura #101. Babbitt de recubrimiento. 200x</i>	160

INTRODUCCIÓN

Dentro de la industria, la vida útil de una máquina depende en gran medida de sus componentes, siendo los cojinetes antifricción fundamentales en equipos giratorios como compresores, turbina, bombas, motores y generadores (Stolarski, 1990). Estos componentes, según Peng et al. (2022) son responsables de alrededor de 45 a 55% de las fallas de los equipos industriales. Esto es complementado por lo dicho por Li & McKee (2001), que mencionan que los cojinetes suelen fallar por corrosión, uso, deformación plástica o un diseño defectuoso. En particular, los defectos más comunes en estos elementos son provocados por el desprendimiento por fatiga (desgaste por fatiga de contacto) que ocurre cuando una pieza del material en contacto con la cara es desprendida durante el uso, a causa de por lo general, esfuerzos cíclicos (Li & McKee, 2001).

Para mitigar estas fallas, es fundamental aplicar recubrimientos especializados en la superficie interna de estos cojinetes. Uno de los más utilizados es el Babbitt, un metal blanco reconocido por su excelente resistencia al desgaste, así como su conformabilidad (Luo et al., 2024). Este metal, aunque mejora el rendimiento del cojinete, según los mismos autores los defectos presentes en su microestructura junto con su baja dureza provocan que el revestimiento tienda a fallar por deformaciones plásticas. Tales defectos están relacionados con la técnica empleada para aplicar el recubrimiento. En este contexto, la fundición centrífuga es la técnica más común para recubrir con Babbitt cojinetes antifricción. Este proceso implica girar el cojinete a altas velocidades donde, la fuerza centrífuga distribuye el metal fundido en la superficie del sustrato haciendo que después del proceso de solidificación, este quede adherido a la superficie interna (McKie, 2015).

No obstante, el Babbitt no es el único material para recubrimiento usado en la industria. Dentro de este campo existen varios tipos de revestimientos que han sido estudiados por

empresas líderes. Tal es el caso de SKF, una empresa sueca dedicada entre varias cosas al diseño de cojinetes. En esta empresa según Broitman (2022), existen diversos tipos de recubrimientos para recubrir a los cojinetes que mejoran su desempeño y su durabilidad. Por ejemplo, para combatir la corrosión se utilizan aleaciones de zinc (Zn) y níquel (Ni), aplicadas mediante procesos de electrodeposición en baños electrolíticos, formando una capa que proporciona alta resistencia a la corrosión, mayor dureza superficial y mejor adherencia respecto al zinc puro. Otra alternativa orientada a la reducción de desgaste, se emplea óxido negro, generado mediante un proceso de conversión química alcalina, que crea una capa superficial de óxido ferroso-férrico (Fe_3O_4). Este recubrimiento mejora la resistencia al desgaste, protege a los elementos mecánicos de la corrosión y reduce la fricción de arranque. Asimismo, se emplea politetrafluoroetileno (PTFE) mediante pulverización por atomización de aire, formando una película autolubrificante y antiadherente, lo que reduce significativamente la fricción y el desgaste por contacto

A pesar de estas alternativas, el Babbitt supera a otras aleaciones de revestimiento usadas dentro de la industria debido a sus propiedades antifricción (Hernández et al., 2011). Existen principalmente dos tipos de Babbitt: a base de estaño y a base de plomo donde, la aleación tiene una fuerte influencia en la microdureza lo cual afecta las propiedades mecánicas y el rendimiento del material (Hernández et al., 2022). En lo que respecta al Babbitt con base de estaño, este se destaca por su uso dentro de aplicaciones de alta responsabilidad donde, puede trabajar a grandes velocidades y estar sometidos a altas cargas debido a su composición química. Sin embargo, una de las limitaciones que presenta es su baja deformabilidad, lo cual los convierte en concentrador de tensiones bajo cargas elevadas (Hernández et al., 2011). Además, los autores también mencionan que durante el proceso de fundición centrífuga se pueden presentar fenómenos de segregación producto de la diferencia de densidades entre los componentes de la aleación. En cambio, en lo que respecta al Babbitt en base a plomo, según

Jacas & Cardentey (2019) este no es usado mucho en aplicaciones de alta responsabilidad debido a que cuenta con poca adherencia sobre la base de hierro y tiene menos dureza a temperatura ambiente que el Babbitt en base a estaño. El beneficio que tiene es que, al elevar su temperatura, la variación de sus propiedades físicas es menor que las del Babbitt en base a estaño.

Es importante mencionar que el Babbitt tiene un desgaste gradual y predecible ya que es un metal de sacrificio. Por lo tanto, debido a su inherente baja dureza, Luo et al. (2024) mencionan que el principal desgaste de las aleaciones de Babbitt se da por delaminación de la matriz blanca debido a la presencia y expansión de grietas generadas por fatiga. Esto debido a que el material sufre deformaciones plásticas al ser sometido a altas cargas, donde además también hay material que tiende a desprenderse. De tal manera, los mismos autores mencionan que todavía se está trabajando en adoptar métodos que mejoren las propiedades de la aleación para mejorar su resistencia al desgaste. Algunas alternativas planteadas buscan aumentar la cantidad de Cu_6Sn_3 , una fase intermetálica que permite mejorar la dureza o modificar la velocidad de solidificación. En todo caso, la mejora del recubrimiento de Babbitt para cojinetes termina siendo fundamental para el progreso de este elemento dentro de la industria dado que en la actualidad al fallar un cojinete se realizan mantenimientos correctivos costosos.

Existen varios métodos por el cual se pueden realizar recubrimientos de Babbitt a partir de lo mencionado por Luo et al. (2024) y Kačinskas et al. (2024), entre los que destacan la soldadura, la pulverización térmica, la fundición centrífuga y la colada estática. Cada uno de estos métodos presenta ventajas y desventajas. Como menciona Luo et al. (2024), en el caso de la soldadura a pesar de que es un proceso económico, se observó que la corriente empleada inicialmente mejora la resistencia de unión entre el sustrato y el recubrimiento, pero luego esta disminuye con el tiempo. Para la pulverización térmica, se demostró que la microestructura de grano fino en la fase beta de la aleación aumentaba la dureza y suprimía la deformación; sin

embargo, este proceso también formaba una gran cantidad de poros. En cuanto a la colada estática, esta técnica implica verter directamente desde un crisol el Babbitt fundido sobre la superficie del cojinete. Esta metodología puede presentar problemas de distribución de calor lo cual afecta el grano dentro de su microestructura y en consecuencia la dureza del material (Kačinskas et al., 2024).

En lo que respecta a la fundición centrífuga, las piezas fundidas por este método tienen una solidificación direccional real desde el exterior hacia el interior, lo cual, ayuda a producir piezas de alta calidad (Dobson, 1988). Además, proporciona un alto control microestructural lo que permite que se puedan producir piezas de diferentes propiedades adaptadas para satisfacer la demanda de aplicaciones específicas (Royer & Vasseur, 1988). No obstante, este tipo de proceso también presenta problemas, por ejemplo, Luo et al. (2024) mencionan que el proceso de fundición centrífuga es propenso a crear defectos como segregación, porosidad y escorias, lo que incrementa la probabilidad de desprendimiento del material. De estos defectos el más común es la segregación la cual se ve fuertemente afectado por la velocidad de rotación y el método de enfriamiento utilizado (Dong et al., 2020). En todo caso, según Ebhota, Karun, & Inambao (2016), la fundición centrífuga es un proceso que permite ahorrar tiempo ya que no requiere de elementos de inyección para dirigir el flujo y genera resultados con buena precisión y acabado superficial. Además, la solidificación es rápida y solo se necesita operaciones de mecanizado sencillas y ligeras.

En este sentido, los investigadores denotan que todavía existen factores que mejorar dentro de las técnicas de recubrimiento para Babbitt. Kačinskas et al. (2024) mencionan que todavía se está investigando la relación entre la composición de aleación del Babbitt y la técnica de revestimiento utilizada. En el caso particular de la fundición centrífuga, este método aún se encuentra en desarrollo ya que no se conoce lo suficiente sobre la distribución y el control de fases. Además, otros parámetros como la circulación de la temperatura son difíciles de estimar

debido a las revoluciones usadas durante la colada y la solidificación (Ebhotu, Karun, & Inambao, 2016).

En esta perspectiva, el trabajo busca plantear el diseño y construcción de una máquina de fundición centrífuga que permita explorar la relación que existe entre la técnica empleada y la calidad del recubrimiento de Babbitt generado a través de un análisis de los revestimientos. El proyecto se realizará en aproximadamente 5 meses y se enfocará en trabajar con cojinetes simulados recubiertos con Babbitt, de tres tamaños distintos realizados con la máquina construida. Se evaluará la calidad del revestimiento generado a través de un análisis cualitativo de la adherencia por medio de su micrografía. Esto con el objetivo de fomentar la implementación de este proceso en el Ecuador, ya que este tipo de procesos no se encuentran todavía establecidos dentro del mercado ecuatoriano. Este aspecto es fundamentalmente crítico ya que, la industria local tiene una alta demanda de estos cojinetes por la importancia que tienen dentro del país sectores como el petrolero, el minero y el energético. Por consiguiente, dentro del trabajo se plantea que la fundición centrífuga de Babbitt para cojinetes genera un recubrimiento con buena adherencia donde, posibles defectos van a ser influenciados por factores como los tiempos de operación, la velocidad de rotación, la temperatura de colada o las vibraciones. Se considera que impulsar en el país el crecimiento de este proceso ayudaría a desarrollar la industria local.

ASUNTOS CONTEMPORANEOS

Esta sección aborda los principales temas contemporáneos que influyen en el proceso de fundición centrífuga para el recubrimiento de cojinetes con Babbitt. Actualmente, este proceso enfrenta tanto desafíos como oportunidades derivadas de la rápida evolución tecnológica y las crecientes demandas sociales y ecológicas. Por ello, resulta fundamental contextualizar cómo puede adaptarse y transformarse para responder a las necesidades

contemporáneas. En este sentido, los asuntos más relevantes incluyen la Industria 4.0, el *Internet of things* y la sostenibilidad, que serán analizados a continuación.

La implementación de la industria 4.0 representa uno de los fenómenos más influyentes de la ingeniería contemporánea, debido a las oportunidades de innovación que proporciona. Esta tendencia puede aplicarse al proceso de fundición centrífuga de cojinetes mediante el *Cloud Manufacturing* que organiza los recursos que se tienen en redes a partir de las necesidades y demandad del consumidor (Barrágan & Zaldivar, 2023). De tal manera, implementar este tipo de tecnología ayudaría en la producción de cojinetes de Babbitt de diversos espesores ya que, en base a las tendencias del mercado, la industria con la que se trabaja y el espesor requerido, con la máquina de fundición centrífuga se podría producir eficientemente los cojinetes solicitados en un ámbito comercial.

Por otro lado, dentro del *Smart Manufacturing*, la interoperabilidad es un principio fundamental. Esto porque permite compartir e intercambiar información para cumplir una función específica. Su implementación resulta en operaciones efectivas y fluidas en la industria, reduce costos y aumentando la producción y calidad del producto (Zeid, Sundaram, Maoghaddam, Kamarthi, & Marion, 2019). En el contexto de la máquina de fundición centrífuga, la interoperabilidad puede implementarse al vincular datos de distintos equipos como la temperatura del horno o la del precalentamiento del cojinete. Esto permitiría que a través de sensores se pueda generar una respuesta automatizada y sincronizada. A su vez, también se podría interoperar el sistema de rotación con las temperaturas de manera que las revoluciones por minuto se ajusten automáticamente una vez alcanzados los valores térmicos requeridos

Otro tema que ejerce un rol crítico dentro de la industria 4.0 es la trazabilidad ya que su propósito es monitorear los eventos presentes dentro de un sistema de manufactura. Esta capacidad permite determinar la fase de la producción en la que se encuentra un equipo,

diagnostica y predecir problemas de calidad y mejorar la eficiencia general de la producción. (Schuitemaker & Xu, 2020). En el caso de la máquina de fundición centrífuga, la trazabilidad se podría usar mediante un sistema de control de calidad que considera parámetros claves del proceso. Este sistema podría incluir alarmas inteligentes que se activen cuando uno o dos parámetros se desvíen de los valores establecidos permitiendo así una respuesta rápida

El *Internet of Things* (IoT) se enfoca en interconectar a varios equipos, dispositivos y sensores a una central para optimizar procesos de manufactura. Dentro de factorías inteligentes, dispositivos IoT son usados para monitorear y controlar aspectos de la producción donde, la maquinaria puede generar información real de su estado y rendimiento (Soori, Arezoo, & Dastres, 2023). Para la fundición centrífuga, generar información sobre el estado del motor usado, de la bomba o incluso de otros procesos como el sistema de giro o de colada del Babbitt podría ser útil no solo para evaluar el rendimiento de la máquina sino también para el proceso de mantenimiento de esta. Además, se podrían implementar sensores IoT para las vibraciones ya que las mismas afectan la calidad del recubrimiento realizado por lo que recopilar datos ayudaría a controlar más esa variable.

El IoT también permite realizar monitoreos de seguridad para asesorarse que los operadores están siguiendo los protocolos de seguridad y que cualquier peligro sea identificado y solucionado inmediatamente (Soori, Arezoo, & Dastres, 2023). Esto es particularmente importante para el proceso de fundición centrífuga ya que al trabajar con altas revoluciones y metal fundido existe riesgos que pueden comprometer la salud del operador. De tal manera, identificar posibles problemas dentro de la máquina lo antes posible es fundamental para evitar cualquier tipo de accidente.

A través del IoT también es posible realizar un análisis de control para identificar defectos del producto. Dentro de una red integrada por sensores, dispositivos y máquinas, IoT puede analizar datos en tiempo real y dar información del proceso para así poder hacer un

análisis de control e identificar desviaciones tempranas que puedan causar defectos (Soori, Arezoo, & Dastres, 2023). Esto se complementa con la trazabilidad y la interoperabilidad previamente descritos ya que, IoT puede evaluar la eficiencia y sinergia de cada parte del proceso de fundición centrífuga a través de la interoperabilidad y puede rastrear cojinetes desde que son estañados hasta que son precalentados lo cual facilita la identificación de defectos de calidad.

Uno de los retos contemporáneos más relevantes es la transición hacia procesos industriales más sostenibles. En este contexto, la fundición centrífuga utilizada para el recubrimiento de cojinetes con aleaciones de Babbitt ha generado durante décadas impactos ambientales asociados a su uso energético y la generación de residuos metálicos. Por lo tanto, es importante implementar estrategias que puedan mitigar el impacto que tiene este proceso. Una alternativa es la remanufactura de los cojinetes de Babbitt. La remanufactura tiene muchos beneficios económicos y ambientales que permiten ahorrar material y reutilizar partes y componentes ya usados (Fegade, Shrivastava, & Shrivastava, 2020). Bajo este enfoque, sería posible reutilizar el Babbitt para la fundición, es decir, una vez un cojinete de Babbitt ha cumplido su ciclo de vida, las partes en donde el metal blanco no fallo pueden ser reutilizadas. A su vez, también sería posible aplicar este proceso para los cojinetes ya que en vez de rehacer el componente entero, las partes que no tienen daños como el sustrato, pueden usarse en cojinetes nuevos.

Sin embargo, para reducir la necesidad de remanufacturar, es necesario tratar de aumentar la vida útil y durabilidad de los cojinetes. Esto se puede lograr a través de estudios exhaustivos sobre como optimizar el cojinete para evitar fallos a través de datos basados en el diseño, la operación y las condiciones ambientales (Benedik, Rihtarsic, Povh, & Tavcar, 2021). Esto aporta a la sostenibilidad ya que alargar la vida útil de los cojinetes en consecuencia reduce la tasa de desperdicios creados en un plazo determinado.

Para fomentar la sostenibilidad, otra medida que se puede realizar es buscar optimizar el proceso. Muchas veces la industria utiliza de manera ineficiente la energía lo cual representa una amenaza para el medio ambiente ya que así se contribuye a las emisiones de gases de efecto invernadero de manera innecesaria (Geovanny, Aldas, Lascano, & Ayala, 2024). En el caso de la fundición centrífuga, termina siendo de vital importancia realizar estudios de optimización para reducir el consumo ineficiente de energía a lo largo del proceso.

En definitiva, a pesar de que la fundición centrífuga para cojinetes de Babbitt es un proceso que ya ha existido durante mucho tiempo, los avances tecnológicos recientes y los problemas globales han permitido que este proceso tenga una evolución significativa dentro de la manufactura moderna. Cada área mencionada aporta soluciones claves para optimizar, reducir el impacto ambiental y mejorar la calidad de los productos producidos. La industria 4.0 a través del *Smart Manufacturing* y el *Cloud Manufacturing* optimizan el proceso y brindan diversas herramientas de apoyo. El IoT interconecta a través de una red los equipos y máquinas involucrados lo cual ayuda a controlar con mayor facilidad parámetros y resultados generados. Por su parte, la sostenibilidad a través la implementación de procesos de remanufactura para cojinetes de Babbitt se alinea con las tendencias actuales y busca una transición a procesos más sostenibles.

CRITERIOS INGENIERILES Y ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

Una vez contextualizado y definido el proyecto y su objetivo, los siguientes criterios ingenieriles fueron establecidos para la evaluación y toma de decisiones posteriores para la construcción de la máquina.

Tabla #1. Criterios ingenieriles del proyecto

Criterio ingenieril	Descripción
Costo	Considerando el presupuesto asignado para el proyecto. Se debe optimizar el uso de materiales y recursos, asegurando un equilibrio entre calidad y viabilidad económica.
Estética	El diseño de la fundidora debe mantener una apariencia profesional y duradera. Se priorizará el uso de metales que mantengan un aspecto atractivo sin comprometer la funcionalidad.
Funcionalidad	Se debe lograr un recubrimiento uniforme de babbitt en el interior del rodamiento a través de un diseño viable y asegurando una distribución homogénea del material.
Mantenimiento	El mantenimiento debe enfocarse en la fiabilidad de los componentes eléctricos y mecánicos, con especial atención al motor trifásico y al sistema de control.
Seguridad	Dado los riesgos del sistema, es importante que se asegure que las temperaturas, presiones y gases involucrados no representen un peligro para el entorno ni los operadores.
Ergonomía	La comodidad y facilidad de uso es importante para los operadores para mejorar la interacción con los controles y los mecanismos.
Facilidad de fabricación	Dado que el proceso de fundición tiene pasos complejos, es importantes que el sistema diseñado sea fácil de construir y que el número de piezas, así como los procesos de manufactura requeridos sean mínimos

Tamaño	Considerando las posibles limitaciones de espacio y transporte, es importante que el sistema desarrollado sea compacto.
Facilidad de procura	Para crear la máquina es necesario adquirir varios componentes y materiales metálicos. Por tanto, es importante evaluar la disponibilidad, la facilidad de adquisición y los posibles tiempos de entrega de cada componente y material a utilizar.

Una vez definidos los criterios ingenieriles se procedió a considerar que especificaciones técnicas son importantes para el desarrollo del trabajo.

Tabla #2. Especificaciones técnicas del proyecto

Especificación técnica	Detalle
Velocidad de giro del motor	800 rpm (variable)
Temperatura para el precalentamiento del cojinete	150 °C – 250 °C
Sistema de transmisión	Transmisión por banda
Potencia del motor	3 hp
Diámetros de los cojinetes	4 in, 6 in y 8 in
Largo de cada cojinete	10 cm
Caudal de la bomba máximo	15 l/min
Sistema de combustión	Con gas GLP
Ensayos no destructivos	Inspección visual
Evaluación del recubrimiento	Mediante micrografía
Cantidad de Babbitt usado	4.07 kg

REVISIÓN LITERARIA

Dentro de la manufactura existen varias técnicas importantes. De estas una de las que destaca es la fundición. La fundición es una técnica antigua que ha evolucionado a lo largo de los años. No se conoce con exactitud cuándo comenzó su uso, pero existen pruebas de trabajos con metales fundidos desde el periodo Calcolítico, el cual precede a la edad del Bronce (Goodway, 1988). Actualmente, existen varias técnicas y usos para la fundición. Entre estas, una de las más precisas y usadas es la fundición centrífuga. Esta técnica no es nueva, la primera patente de este método la obtuvo el inglés A.G. Echardt en 1809, sin embargo, la primera aplicación comercial ocurrió en 1848 para la fabricación de tuberías en Baltimore, Estados Unidos (Saleh, y otros, 2020).

Existen tres tipos de fundiciones centrífuga: fundición centrifugada, fundición semi-centrífuga y fundición centrífuga real. A su vez, existen dos tipos de orientaciones que se pueden usar: vertical y horizontal. En este trabajo se emplea la fundición centrífuga real horizontal, un método que involucra vaciar el metal fundido en un molde para crear formas tubulares donde, la fuerza centrífuga generada al hacer girar el molde hace que el metal se adhiera a sus bordes creando así una pieza hueca sin la necesidad de usar un núcleo interno (McKie, 2015). Para esta técnica de fundición existe parámetros importantes a considerar, según Royer & Vasseur (1988), el grado de calor requerido para la fundición depende del metal fundido, el molde y sus propiedades física. Mientras que la velocidad de rotación por lo general varía de entre 50 G a 100 G's a lo largo del proceso de fundido. Ambos parámetros están relacionados entre ellos, los autores mencionan que una alta temperatura de fundición requiere altas velocidades para evitar deslizamientos mientras que una temperatura baja puede causar porosidad. Otro parámetro importante es la solidificación la cual se ve influenciada por la

temperatura de calentamiento del metal fundido y el espesor del sustrato donde, ambas variables influyen en el tiempo que toma la solidificación.

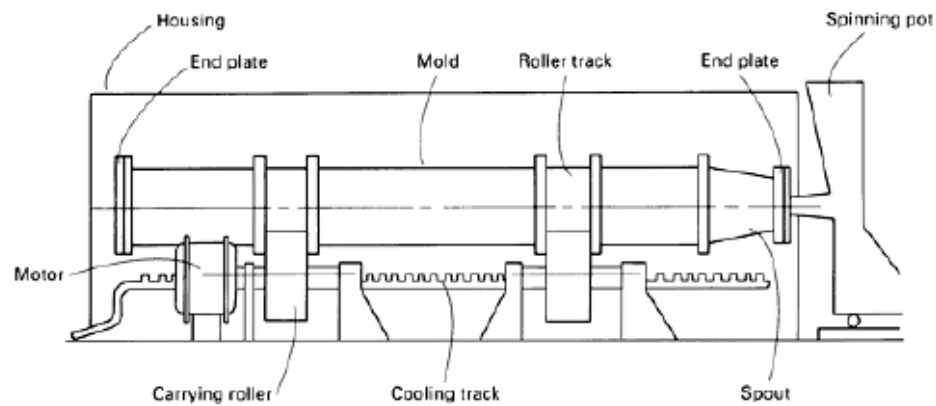


Figura #1. Esquema de una máquina de fundición centrífuga (Royer & Vasseur, 1988)

En este contexto, la fundición centrífuga real resulta ser un proceso de gran importancia para trabajar con piezas metálicas cilíndricas. Su uso no se limita solo a la fabricación de piezas, sino que también puede ser usada para realizar recubrimientos internos de piezas cilíndricas tales como los cojinetes. Los cojinetes son un elemento mecánico formado por uno o dos anillos concéntricos que soportan radialmente un eje giratorio. (Babu & Krishna, 2015). Los tipos más comunes de cojinetes son los de fricción (*Journal Bearings*) y los rodamientos (*Rolling Bearings*). Ambos cojinetes se eligen según las condiciones de operación. Si se necesita trabajar con cargas es más común usar los cojinetes de fricción (Li & McKee, 2001).



Figura #2. Cojinetes antifricción (Comas, 2011)

Como ya se mencionó previamente, para alargar la vida útil de los cojinetes los recubrimientos hechos con Babbitt son bastante comunes. La aleación de Babbitt patentada por Isaac Babbitt en 1839 es un metal blanco principalmente de Estaño (Sn) o Plomo (Pb) que también puede incluir Antimonio (Sb), Cobre (Cu) y Arsénico (As). Cuenta con un punto de fusión bajo y una excelente resistencia al desgaste (ASTM, 2020). Ahora bien, las propiedades del Babbitt dependen fuertemente de su composición química. Según Ameer (2019), la resistencia a la fatiga del Babbitt alcanza su punto máximo cuando las fases intermetálicas están presentes como dispersiones finas en la matriz. Además, menciona que la resistencia a la tracción aumenta con una mayor presencia de cobre y antimonio mientras que con una menor presencia de ambos elementos aumentaba la resistencia al agrietamiento por fatiga. De tal manera, se suele buscar un punto intermedio entre ambas resistencias al producirse este metal. Esto debido a que los cojinetes de Babbitt son usados dentro de máquinas como compresores, turbinas o vehículos (Ramadan, Alghamdi, Subhani, & Halim, 2020). De tal modo, la adherencia del Babbitt al cojinete es importante para el desempeño del elemento donde, la fundición centrífuga, así como la aleación del Babbitt juegan un papel fundamental.

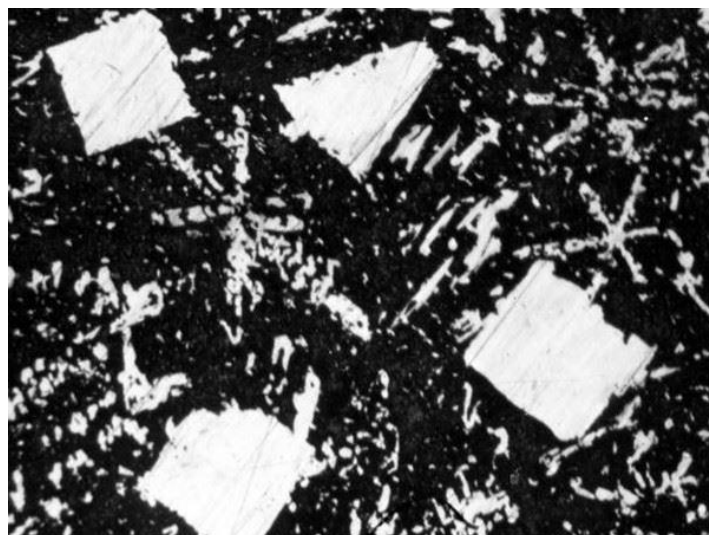


Figura #3. Micrografía del Babbitt (Shaanxi World Iron & Steel Co., 2020)

CONCEPTOS DE DISEÑO Y SELECCIÓN

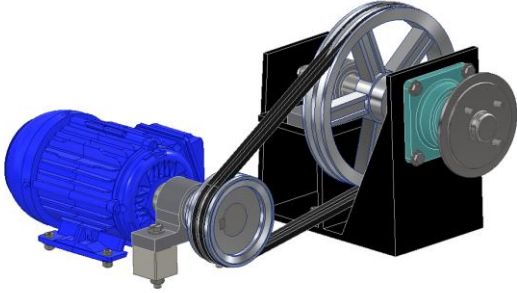
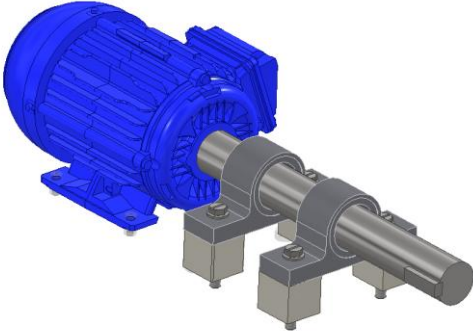
Se han evaluado tres alternativas para algunos de los sistemas involucrados en el proceso. La selección se realizó a través del método ordinal corregido de criterios ponderados propuesto por (Romeva, 2002) en Diseños Concurrentes.

Selección del diseño del sistema de rotación

El problema más crítico es el diseño del sistema de rotación, ya que esta decisión influenciará los subsistemas posteriores. De tal manera, para asegurar una distribución uniforme del material fundido dentro del cojinete durante la fundición centrífuga, se evaluaron tres alternativas de rotación que fueron discernidas considerando las condiciones de trabajo de la máquina.

Tabla #3. Alternativas para el diseño del sistema de rotación

Sistema	Imagen	Descripción
Rotación con caja reductora de velocidades	 <i>Figura #4. Imagen referencial de IA del motor conectado al reductor</i>	Este dispositivo reduciría la velocidad y aumentaría el torque para el sistema de rotación
Rotación horizontal con bandas		Una banda transmitiría el movimiento del

	 <i>Figura #5. Diseño CAD de la rotación con bandas</i>	motor al sistema de rotación
Rotación horizontal con conexión directa del eje del motor	 <i>Figura #6. Diseño CAD de la conexión directa del eje del motor</i>	El sistema de rotación se conectaría directamente al eje del motor

A su vez, para cada alternativa los criterios por considerar son:

- Estabilidad: Capacidad de mantener un movimiento controlado sin oscilaciones que puedan afectar el proceso.
- Transmisión: Cual método de transmisión de potencia es más eficiente.
- Facilidad de implementación: Que opción es la más sencilla de realizar y adquirir.
- Mantenimiento: Facilidad de mantener y reparar el sistema.

De tal manera, un análisis a través del método ordinal corregido fue realizado. Se puede referir al Anexo A: EVALUACIÓN PONDERADA DE LAS ALTERNATIVAS para visualizar las tablas usadas para evaluar cada criterio. Sin embargo, en la siguiente tabla están tabulados los resultados obtenidos.

Tabla #4. Resultados de ponderación para el diseño del sistema de rotación

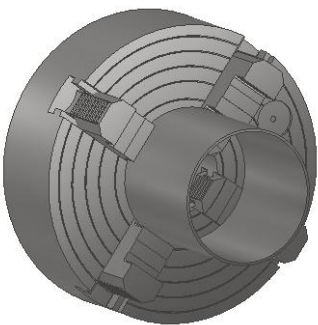
Diseño	Criterio 1: Estabilidad	Criterio 2: Transmisión	Criterio 3: Facilidad de implementación	Criterio 4: Mantenimiento	Σ^+ 1	Prioridad
Solución 1: Rotación con caja reductora de velocidades	0.42	0.33	0.33	0.17	1.35	2
Solución 2: Rotación horizontal con bandas	0.33	0.42	0.33	0.42	1.37	1
Solución 3: Rotación horizontal con conexión directa del eje del motor	0.25	0.25	0.33	0.42	1.28	3

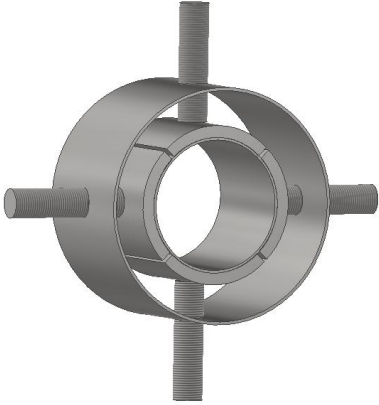
Una vez realizado el análisis, la opción más viable es realizar el sistema rotacional con el uso de un sistema de bandas. Este sistema proporciona buena estabilidad y transmisión. Además, que, al no conectarse el motor directamente con el eje, se reduce el riesgo de que ocurran problemas dada la transferencia de calor generada por el calentamiento del cojinete y por el peso del sistema de sujeción. Usar un sistema de bandas da oportunidad a eliminar la carga del eje y proporciona mayor control sobre el torque generado. Por tanto, a pesar de que el uso de este sistema implica un incremento ligero en la inversión, esta opción es la más viable para el proceso de recubrimiento centrífugo ya que asegura que el sistema de rotación pueda funcionar de manera precisa y confiable.

Selección del método de sujeción

Para apoyar y centrar el cojinete durante la colada de Babbitt, es necesario considerar alternativas que permitan utilizar diferentes diámetros. De tal manera, para el método de sujeción se consideraron los siguientes tres métodos:

Tabla #5. Alternativas para el diseño del sistema de sujeción

Sistema	Imagen	Descripción
Mandril mecánico	 <i>Figura #7. Modelo del Mandril</i>	Proporciona una alineación rápida y sencilla

Abrazadera de sujeción con medialuna	 <i>Figura #8. Imagen referencial de IA de la abrazadera de sujeción con medialuna</i>	Adaptable, requiere ajuste manual
Diseño de sujeción propio	 <i>Figura #9. Modelo CAD del diseño propio</i>	Permite realizar una adaptación específica para el sistema. Implica armar y desarmar constantemente el diseño realizado.

Para cada método de sujeción, los criterios por considerar son:

- Fiabilidad: La seguridad que proporciona el método de sujeción.
- Simplicidad: Un sistema complejo dificulta el montaje.
- Peso: Un sistema más liviano no compromete la estabilidad.
- Costo: Cuánto costaría adquirir los componentes y que disponibilidad hay en el mercado.

Tabla #6. Resultados para el diseño del sistema de sujeción

Componente	Criterio 1: Fiabilidad	Criterio 2: Simplicidad	Criterio 3: Peso	Criterio 4: Costo	$\Sigma+1$	Prioridad
Solución 1: Mandril mecánico	0.43	0.50	0.17	0.25	1.39	1
Solución 2: Abrazadera de sujeción con medialuna	0.29	0.33	0.50	0.50	1.37	2
Solución 3: Diseño propio	0.29	0.17	0.33	0.25	1.25	3

Acabado el análisis, es posible observar que la opción más viable para el sistema de sujeción es el uso de un mandril mecánico. El diseño de este componente permite que la sujeción sea segura y firme lo cual es clave para el proceso de colada centrífuga planteado, especialmente porque se trabaja a altas revoluciones por minuto. Además, su implementación resulta ser más sencilla dado que el diseño requerirá menos pasos de manufactura para funcionar correctamente. Por tanto, trabajará de manera efectiva en conjunto con el resto de los sistemas de la máquina.

Selección del sistema de precalentamiento

Para poder realizar el proceso de recubrimiento y fundición totalmente *in situ*, es necesario idear un sistema de calentamiento que permita precalentar el substrato del cojinete antes de la colada de Babbitt. De tal manera, considerando esto se plantearon tres opciones energéticas:

Tabla #7. Alternativas para el diseño del sistema de calentamiento

Sistema	Imagen	Descripción
Gas licuado de petróleo	 <i>Figura #10. Imagen referencial de IA del gas GLP</i>	También llamados GLP es un hidrocarburo obtenido de la refinación del petróleo que está compuesto por propano y butano. Genera llamas de alta intensidad. (Ormeño, Espinoza, Palacios, Barreda, & Echegaray, 2011)
Inducción magnética	 <i>Figura #11. Imagen referencial de IA de la inducción magnética</i>	El método se enfoca en transmitir el calor generado por corrientes de Foucault, es decir, usa campos electromagnéticos alternos. Este método es utilizado en la industria de la manufactura y permite aplicar calor localizado (Baliga, 2015).

Resistencia eléctrica	 <i>Figura #12. Imagen referencial de IA de la resistencia eléctrica</i>	Es una abrazadera resistiva para geometrías cilíndricas que transmite calor por conducción generado por el paso de corriente y debido a la resistencia eléctrica de un material conductor. Para funcionar correctamente, la resistencia de la pieza de trabajo debe ser igual a la fuente para maximizar la corriente en un voltaje nominal (Gordon, 1975).
-----------------------	---	---

De igual manera, los criterios por considerar son:

- Interoperabilidad: Adaptabilidad del subsistema al resto de la máquina.
- Eficiencia térmica: Capacidad del sistema de generar calor útil.
- Seguridad: Que tan seguro es manejar y operar.
- Costo: Que costos asociados a la operación existen.

Tabla #8. Resultados para el diseño del sistema de calentamiento

Fuente	Criterio 1: Interoperabilidad	Criterio 2: Eficiencia térmica	Criterio 3: Seguridad	Criterio 4: Costos	$\sum +1$	Prioridad
Solución 1: GLP	0.60	0.20	0.30	0.60	1.42	1

Solución 2: Inducción magnética	0.20	0.60	0.30	0.20	1.36	2=3
Solución 3: Resistencia eléctrica	0.20	0.40	0.60	0.40	1.36	3=2

El análisis ponderado demuestra que la opción más viable para realizar el sistema de calentamiento es el gas licuado de petróleo (GLP). El GLP permite que haya una buena interoperabilidad con el resto de los sistemas usados. A su vez, el costo asociado con su uso no es alto y hay una alta disponibilidad dentro del mercado tanto del cilindro como de sus accesorios. Su uso es seguro, siempre y cuando se tomen las medidas necesarias. Además, su eficiencia térmica es adecuada para el proceso de calentamiento y permite que el sistema completo funcione correctamente.

GESTIÓN DE PROYECTO

Para realizar el proyecto dentro de los plazos definidos, se definió un diagrama de Gantt que sirve como guía para saber en qué etapa de desarrollo se encuentre el proyecto.

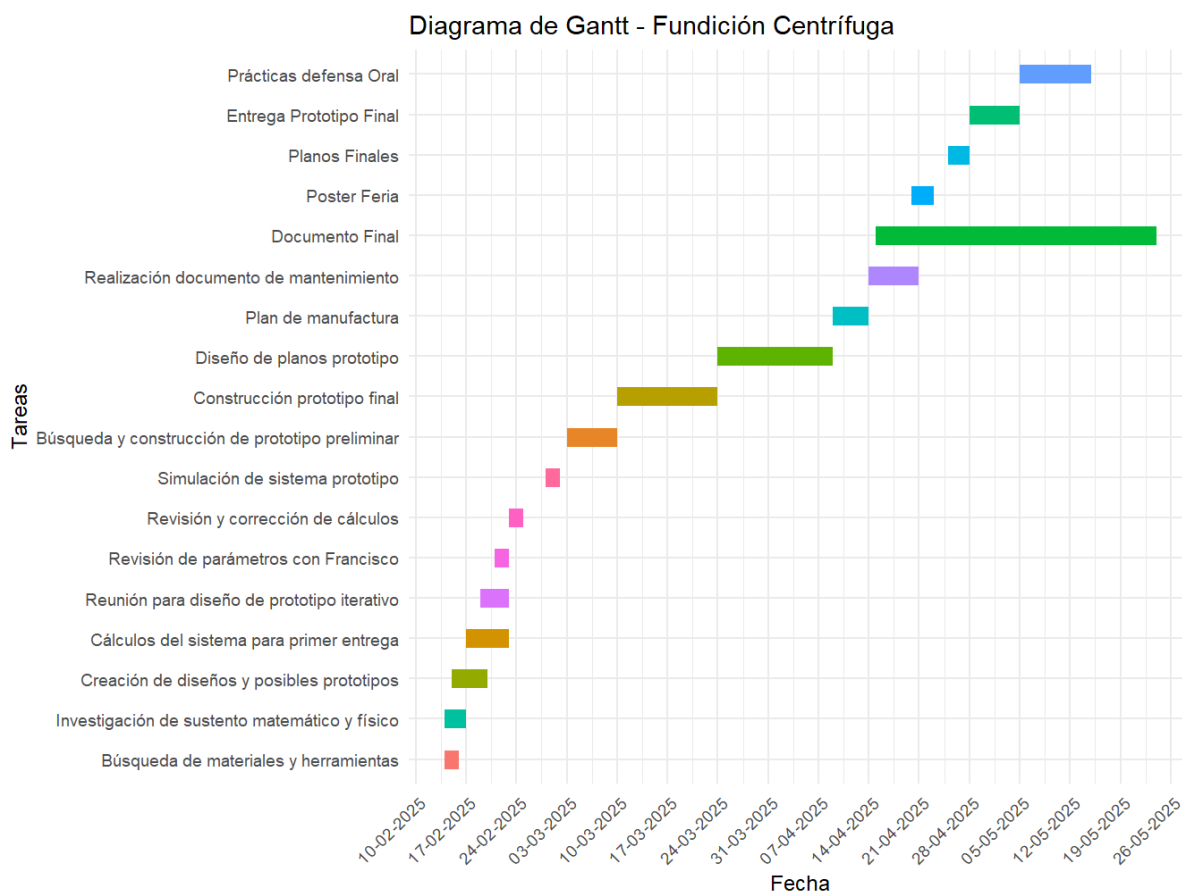


Figura #13. Diagrama de Gantt

Para la realización de este proyecto, la Universidad San Francisco De Quito otorga un presupuesto máximo de \$400. Sin embargo, a lo largo del desarrollo de esta máquina se tuvo que incurrir en más gastos. Estos gastos se dividieron en categorías las cuales serán presentadas a continuación:

Tabla #9. Gastos divididos en categorías

Categoría	Costo
Materiales	\$ 508,60

Componentes mecánicos	\$ 170,00
Servicios Externos	\$ 780,00
Total	\$1.458,60

Para especificar más los gastos de cada una de las categorías, se presentará un desglose de estas.

Tabla #10. Gastos desglosados

Categoría	Desglose
Materiales	• Tubos de acero inoxidable 430 • Chapas de acero inoxidable 304 • Plancha acero A-36 • Tubos de acero negro (Cojinete) • Chavetas • Cilindro de acero 1018 • Pernos • Arandelas • Roscas • Tuberías y tapones (Sistema de refrigeración) • Antorcha • Gas GLP Industrial
Componentes mecánicos	• Mandril • Polea • Bandas en V tipo A
Servicios Externos	• Soldadura • Torno • Templado de poleas

ESTÁNDARES DE INGENIERÍA

Para desarrollar el proyecto de manera segura y eficaz, es necesario recurrir a normas que puedan garantizar que la práctica sea desarrollada de manera confiable. A continuación, se describen las normas utilizadas en distintas áreas del proceso.

- ASTM B23-20: Esta norma cubre ocho aleaciones típicas de Babbitt usadas. De tal manera, es una norma fundamental para el desarrollo del tema, ya que no solo proporciona un marco teórico relevante, sino que también da las pautas necesarias para que, a través de los ensayos necesarios, se pueda definir con que grado de Babbitt se está trabajando. Por ese motivo, según la normativa, se realizó un pulido (solamente lijas) con una indentación Rockwell. Cabe recalcar, que la normativa indica que para interpretar los resultados y clasificar el tipo de babbitt se debe hacer con una indentación Brinell, sin embargo, la maquinaria del laboratorio no estaba disponible. Por lo tanto, hicimos una conversión de valores para obtener el Babbitt de Grado 1 (ASTM, 2020).
- ASTM E2349-19: Esta norma establece los requerimientos fundamentales para el diseño, construcción y operación de maquinaria utilizada en procesos de fundición de metales. Su propósito es proporcionar directrices claras que contribuyan a reducir los riesgos de accidentes laborales. Abarca aspectos críticos como la incorporación de medios de desconexión para todos los motores y circuitos de motor, lo cual permite una interrupción segura en situaciones de emergencia. Además, enfatiza la importancia de contar con señalización adecuada en las zonas de trabajo y de garantizar que el personal reciba la capacitación necesaria para el uso correcto de equipos de protección personal (EPP) al manipular sustancias peligrosas. De manera integral, esta norma se aplica al

diseño seguro y efectivo de toda la máquina, incluyendo zonas de seguridad, botones de emergencia, dimensiones y otros elementos que permitan una operación confiable. Su cumplimiento es esencial para asegurar condiciones óptimas de trabajo y prevenir situaciones que puedan comprometer la integridad del operario (ASTM, 2019).

- DIN 6886: La norma DIN 6886 define las especificaciones técnicas para las chavetas utilizadas en transmisiones mecánicas, estableciendo con precisión sus dimensiones, tolerancias y requisitos de fabricación. Clasifica las chavetas en dos variantes principales: Tipo A, con extremos redondeados, y Tipo B, con extremos rectos, ambas diseñadas para asegurar un ajuste por presión entre el eje y el componente acoplado. La norma detalla parámetros críticos como el ancho (b), la altura (h) y la longitud (L) de las chavetas, en función del diámetro del eje, y exige el radiado de los fondos de los chaveteros para evitar concentraciones de tensión que puedan comprometer la integridad del sistema. En el presente proyecto, esta norma fue aplicada específicamente en la fabricación del chavetero del Acople Motor–Polea motriz (ANEXO C: MANUAL DE MANTENIMIENTO), permitiendo diseñar una chaveta a medida que garantice un desempeño seguro y eficiente del sistema de transmisión (Deutsches Institut für Normung, 2013).
- ISO 898-1: Esta norma se enfoca en las propiedades de pernos hechos de acero, tanto los aceros al carbón como para aleaciones de acero. En la misma se proporcionan valores útiles para el cálculo de diseño realizado para los pernos que sujetan el mandril al variador de velocidades. De tal modo, la junta es crítica dentro del sistema ya que el mandril al pesar 28 kg requiere ser asegurado correctamente. Por tanto, las simulaciones realizadas usaron los valores de la tabla 3 de la norma para las propiedades mecánicas

y físicas de los pernos. Los valores de la tabla 4 para la carga de tracción máxima con el fin de poder analizar de manera analítica si la junta empernada propuesta soportará los esfuerzos generados (ISO, 2013).

- ASTM E18-22: Esta norma permite determinar la dureza de un metal a través de ensayos Rockwell. Este ensayo puede proporcionar información sobre la resistencia al desgaste y la ductilidad de un metal. Por tanto, aporta información importante para el proyecto planteado ya que conocer estas propiedades permitiría correlacionar la teoría investigada con los resultados experimentales obtenidos. Además, este ensayo ayudaría a categorizar el Babbitt usado dentro del proyecto. Esto debido a que la norma ASTM B23-20 para metales blancos cuenta con tablas en donde se estipula la dureza Brinell de cada uno de los Babbitt normados y lo que se haría fuera una conversión de valores. De tal forma, medir la dureza ayudaría a poder determinar con qué tipo de Babbitt se está trabajando y que composición podría tener (ASTM, 2016).
- ISO 20816-3: Esta norma establece criterios para evaluar la severidad de vibraciones en máquinas rotativas mediante la medición del valor RMS de la velocidad de vibración en mm/s. Clasifica la condición operativa en zonas en una escala de la “A” a la “D”, que indican si el equipo está en estado óptimo, aceptable, inaceptable o crítico. Considera factores como el tipo de soporte, la potencia y la velocidad de operación. Aunque fue diseñada para aplicaciones industriales generales, su metodología es fácilmente aplicable a equipos de fundición como las máquinas de colado centrífugo. Para esta razón, el equipo se realizó un estudio de vibraciones de la máquina para concluir el estado de operación. Este análisis concluyó que la máquina necesita mantenimiento inmediato por la vibración elevada (ISO, 2022) .

- ISO 14224: Esta norma proporciona un marco estructurado para la recopilación y análisis de datos de confiabilidad y mantenimiento de equipos industriales. Esta norma hace énfasis en la división del equipo en subsistemas, para poder definir de forma adecuada sus modos y causas de falla. Además de un registro sistemático de fallas, paradas, reparaciones y actividades de mantenimiento preventivo o correctivo. Pese a que esta normativa se basa en la industria petrolera y petroquímica, esta norma es fácilmente aplicable para otros ámbitos industriales como el de fundición, por ese motivo, se empleó esta norma para la realización del Manual de Mantenimiento (ANEXO C: MANUAL DE MANTENIMIENTO), (ISO, 2016).

SELECCIÓN DE MATERIALES Y COMPONENTES

Al ser la máquina robusta y tener como fin transmitir torques para generar velocidades de rotación altas, se ha optado por materiales de acero resistente tanto en los sistemas de transmisión, así como en la mesa de apoyo. El acero que se seleccionó para la construcción del eje que conecta el motor con la polea, así como para el eje del mandril, fue el acero 1018. Cabe recalcar que el eje que conecta con la polea grande y el mandril fue rehusado del taller mecánico, ya que era una pieza que formaba parte de un sistema previamente armado y que coincidía con lo que se quería construir. Este es un acero de bajo carbono con una composición química compuesta principalmente por hierro y un contenido de carbono de aproximadamente 0.15 % a 0.20 %, junto con pequeñas cantidades de manganeso (entre 0.60 % y 0.90 %). Este acero tiene una resistencia a la tracción de alrededor de 440 [MPa] y un límite elástico de unos 370 [MPa], lo cual lo hace bueno para trabajos mecánicos donde no se necesite soportar cargas tan grandes. Es fácil de mecanizar y también de conformar en frío, lo cual permite trabajarlo sin que se agriete o pierda propiedades. Tiene una dureza moderada de unos 71 HRB, por lo que resiste bien en piezas que no están expuestas a desgaste intenso. Por estas mismas razones, también se lo utilizó en piezas críticas como son los chaveteros, ya que su resistencia es suficiente para asegurar una transmisión correcta del torque en las poleas. Su tenacidad y casi inexistente fragilidad lo hacen adecuado para soportar cargas moderadas sin fallar ni presentar roturas, incluso en zonas donde se concentran esfuerzos.

Por otra parte, la mesa, al ser rehusada del taller mecánico, ya estaba hecha la estructura principal con acero A-36. Es por esta razón que también se usó este mismo material para los refuerzos, tanto en la chapa superior, como en el soporte de la mesa, manteniendo uniformidad en el tipo de acero usado. Este material es bastante común en estructuras porque tiene una resistencia aceptable a la tracción (alrededor de 400 a 550 [MPa]) y un límite elástico de 250

[MPa]. Lo cual lo hace adecuado para soportes o bases que no están sometidas a esfuerzos extremos. Además, existe mayor facilidad de soldadura, lo que facilita bastante cuando se requiere hacer adaptaciones o modificaciones.

El motor que se usó para la construcción del proyecto fue rehusado del proyecto de titulación *Generador de calor por cavitación*, realizado por Altamirano et al. (2024) dentro de la carrera de Ingeniería Mecánica de la USFQ. Este motor cumplía con los requisitos establecidos en el análisis ingenieril, ya que contaba con una potencia de 3 HP y las RPM necesarias para alcanzar las velocidades de rotación deseadas en el proceso. Por esta razón, se decidió reutilizar este motor para la manufactura.

Lo mismo ocurrió con el variador de frecuencia, el cual también fue obtenido del mismo proyecto. Este ya contaba con el cableado correspondiente instalado y funcionando en conjunto con el motor y la bomba de agua, lo que representó una ventaja significativa, ya que permitió aprovechar el sistema eléctrico ya armado, sin necesidad de hacer modificaciones ni adaptar nuevas conexiones. Esto facilitó la implementación del sistema de transmisión y permitió ahorrar tiempo y recursos en el ensamblaje eléctrico.

Finalmente, para la construcción de subsistemas como la cubierta de seguridad y el colador, se utilizó acero inoxidable 430, ya que estos componentes estarán expuestos directamente a temperaturas cercanas a los 450 °C durante el proceso de fundición. Este tipo de acero fue seleccionado principalmente por su buen comportamiento a altas temperaturas y su resistencia a la oxidación, lo cual es fundamental para mantener la integridad estructural de las piezas que están en contacto directo con el metal fundido. El acero inoxidable 430 es una aleación ferrítica que contiene un alto porcentaje de cromo (16-18%), lo que le proporciona buena resistencia a la corrosión en ambientes moderadamente agresivos y excelente estabilidad térmica. A diferencia de los aceros austeníticos, este material tiene una expansión térmica más

controlada, lo que lo hace adecuado para estructuras metálicas expuestas a ciclos térmicos frecuentes.

PLAN DE MANUFACTURA

A continuación, se presentan las hojas de procesos y diagramas de flujo que detallan la fabricación de algunos de los componentes de la máquina para fundición centrífuga. Las hojas de procesos son una herramienta clave en manufactura porque nos permiten organizar y documentar los pasos específicos para la fabricación de cada pieza. Básicamente, indican qué materiales se usan, qué tipo de procesos de fabricación se aplica, qué equipos son necesarios y en qué orden deben realizarse las operaciones para la manufactura de cada pieza. Las piezas que se van a ensamblar y manufacturar son los siguientes:

Tabla #11. Listado de piezas a fabricar

N°	Pieza o componente por fabricar
1	Acople Motor-Polea
2	Cubierta de Seguridad
3	Colador de Babbitt
4	Base de Colador
5	Tapa Selladora Circular de Cojinete
6	Sistema de sujeción de Tapa Selladora Circular de Cojinete
7	Bastidor
8	Tanque de agua (Sistema de enfriamiento)
9	Extensión de soporte para Colador

A continuación, se presentará, el calendario de ejecución de los procesos, con el objetivo de organizar y documentar la fabricación de los distintos componentes de la fundidora centrífuga. En donde se detallan las fechas de inicio y fin de cada actividad, la pieza a construir, el proceso de mecanizado y la persona responsable de su fabricación.

Tabla #12. Cronograma de construcción

Fecha Inicio	Fecha Fin	Pieza	Proceso	Entidad	Responsable	Material	Control de calidad
17-mar-25	17-mar-25	Acople Motor-Polea	Corte de material	USFQ	André Cevallos	AISI 1018	Alfredo Valarezo
17-mar-25	18-mar-25	Acople Motor-Polea	Torneado	USFQ	André Cevallos	AISI 1018	Alfredo Valarezo
18-mar-25	18-mar-25	Acople Motor-Polea	Fresado	USFQ	André Cevallos	AISI 1018	Alfredo Valarezo
18-mar-25	19-mar-25	Cubierta de Seguridad	Corte de material a láser / Rolado	USFQ	Sebastián Acurio	Inox 430	Alfredo Valarezo
19-mar-25	19-mar-25	Cubierta de Seguridad	Soldadura	USFQ	Jackson Alcívar	Inox 430	Alfredo Valarezo
19-mar-25	20-mar-25	Colador de Babbitt	Corte de material a láser	USFQ	Jackson Alcívar	Inox 430	Alfredo Valarezo
20-mar-25	21-mar-25	Colador de Babbitt	Soldadura	USFQ	Nicolás Ortiz	Inox 430	Alfredo Valarezo
21-mar-25	21-mar-25	Colador de Babbitt	Acabado	USFQ	Sebastián Acurio	Inox 430	Alfredo Valarezo
21-mar-25	21-mar-25	Base de Colador	Corte de material a láser	USFQ	Sebastián Acurio	Inox 430	Alfredo Valarezo
21-mar-25	22-mar-25	Base de Colador	Soldadura	USFQ	Sebastián Acurio	Inox 430	Alfredo Valarezo
22-mar-25	23-mar-25	Base de Colador	Acabado	USFQ	André Cevallos	Inox 430	Alfredo Valarezo
23-mar-25	23-mar-25	Tapa Selladora Circular de Cojinete	Corte de material a láser	USFQ	Sebastián Acurio	Inox Mate	Alfredo Valarezo
23-mar-25	24-mar-25	Tapa Selladora Circular de Cojinete	Acabado	USFQ	Sebastián Acurio	Inox Mate	Alfredo Valarezo
24-mar-25	24-mar-25	Tornillos Sujetadores de Tapa Selladora Circular de Cojinete	Corte de material	USFQ	Sebastián Acurio	AISI 1018	Alfredo Valarezo
24-mar-25	25-mar-25	Tornillos Sujetadores de Tapa Selladora Circular de Cojinete	Roscado de platinas traseras para sujeción	USFQ	Sebastián Acurio	AISI 1018	Alfredo Valarezo
25-mar-25	25-mar-25	Tornillos Sujetadores de Tapa Selladora Circular de Cojinete	Soldadura	USFQ	Jackson Alcívar	AISI 1018	Alfredo Valarezo
25-mar-25	26-mar-25	Bastidor	Corte de material (Platinas y plancha metálica)	USFQ	Sebastián Acurio	Acero A36	Alfredo Valarezo
26-mar-25	26-mar-25	Bastidor	Refuerzo estructural / Soldadura	USFQ	André Cevallos	Acero A36	Alfredo Valarezo
26-mar-25	27-mar-25	Bastidor	Columnas de soporte para caja de control	USFQ	André Cevallos	Acero A36	Alfredo Valarezo
27-mar-25	27-mar-25	Bastidor	Pintado	USFQ	André Cevallos	Acero A36	Alfredo Valarezo
27-mar-25	28-mar-25	Tanque de agua (Sistema de enfriamiento)	Corte de material	USFQ	Nicolás Ortiz	Acero A36	Alfredo Valarezo
28-mar-25	29-mar-25	Tanque de agua (Sistema de enfriamiento)	Limpieza de piezas / Soldadura	USFQ	Nicolás Ortiz	Acero A36	Alfredo Valarezo
29-mar-25	29-mar-25	Extensión de Soporte para Colador	Corte de material a láser	USFQ	Nicolás Ortiz	Acero A36	Alfredo Valarezo
29-mar-25	30-mar-25	Extensión de Soporte para Colador	Limpieza de piezas / Soldadura	USFQ	Nicolás Ortiz	Acero A36	Alfredo Valarezo
01-abr-25	01-abr-25	Extensión de Soporte para Colador	Pintado	USFQ	Nicolás Ortiz	Acero A36	Alfredo Valarezo

Por otro lado, los diagramas de flujo son representaciones visuales que muestran cómo se desarrolla cada proceso de manera secuencial. Son fundamentales porque ayudan a entender de manera visual las decisiones y pasos que hay que seguir. Por lo tanto, estas herramientas dan una visión clara y estructurada de la manufactura, asegurando que cada pieza cumpla con las especificaciones del diseño y se fabriquen de manera eficiente.

La simbología que se utiliza para realizar los diagramas de procesos es la siguiente:

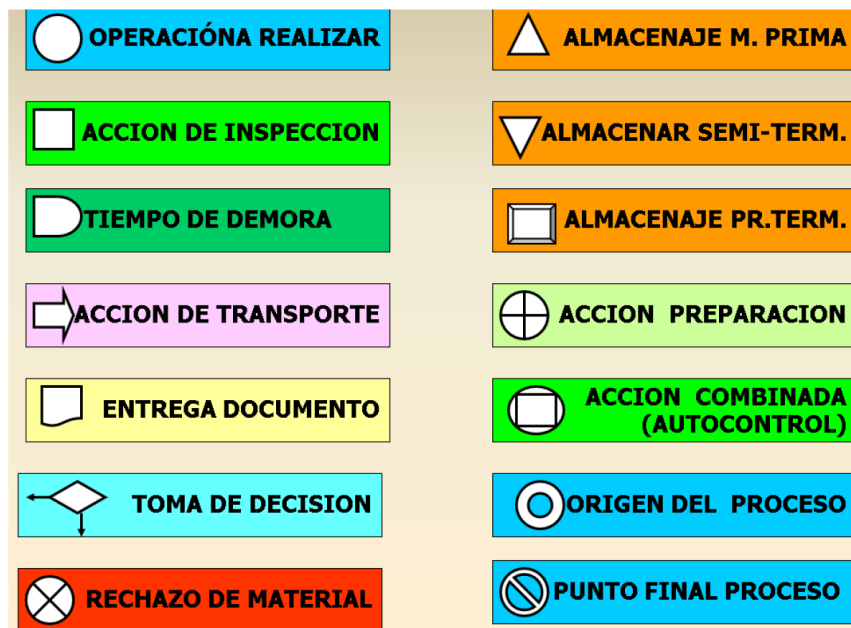


Figura #14. Simbología de Diagrama de Procesos

- Diagrama de Procesos Colador de Babbitt:

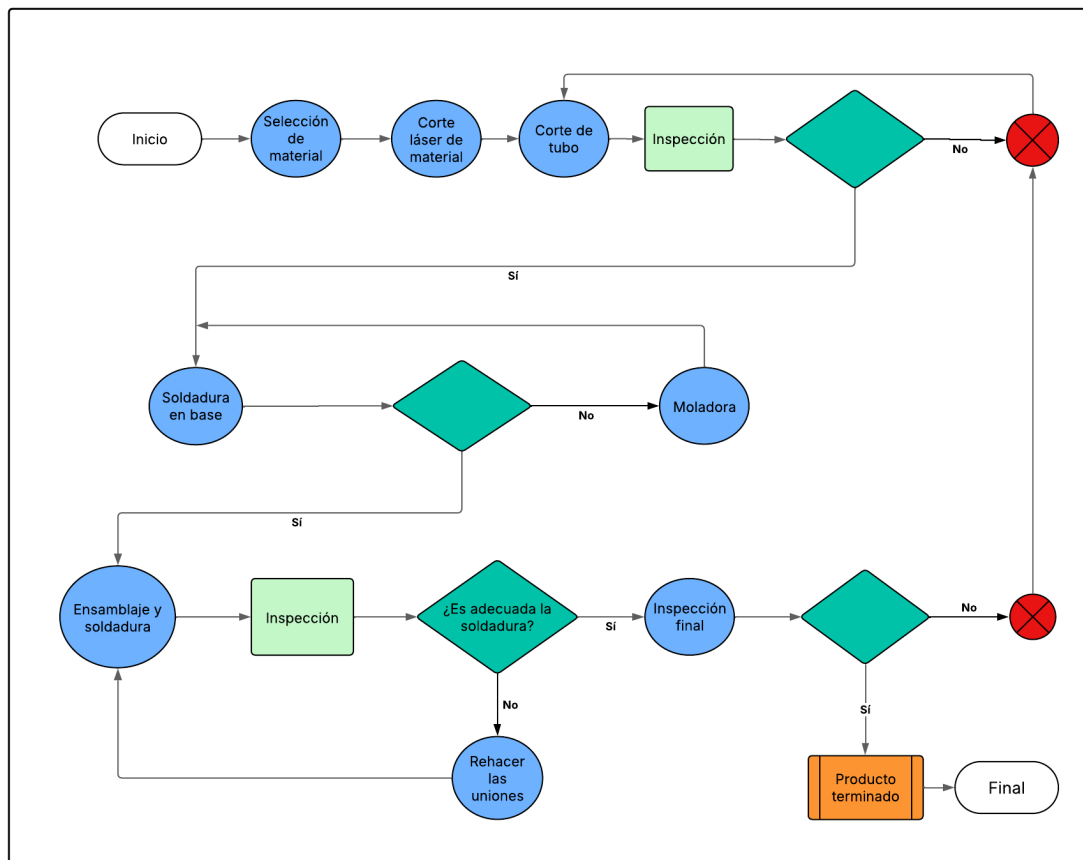


Figura #15. Diagrama de Procesos Colador de Babbitt

El diagrama de flujo muestra el proceso de fabricación del colador de babbitt, desde la selección del material hasta la inspección final del producto terminado. Se inicia con la selección de materiales y el corte de las piezas necesarias (láser), seguido de una inspección para asegurar que cumplen con los requisitos. Luego, se realizan operaciones de soldadura de la base del colador. En caso de que el soldado no sea adecuado, se utiliza una amoladora para deshacer las uniones y se repite el proceso. Posteriormente, se lleva a cabo el ensamblaje y la soldadura, seguido de otra inspección para verificar la calidad de las uniones. Finalmente, se realiza una última inspección y, si el producto cumple con los estándares, se considera terminado; de lo contrario, se detiene el proceso y se evalúa que acción se tomará.

- Diagrama de Procesos Bastidor:

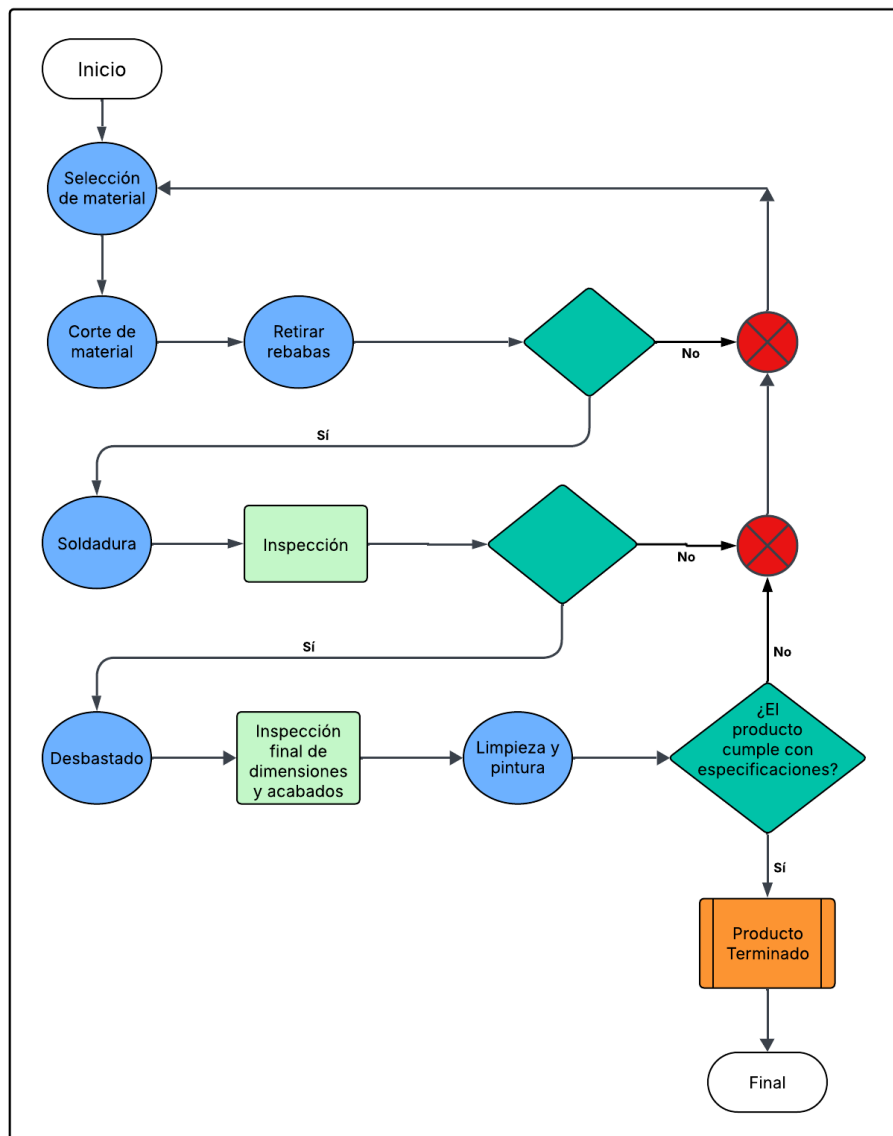


Figura #16. Diagrama de Procesos Bastidor

Como se puede observar, el proceso comienza con la selección del material, seguido del corte y la eliminación de rebabas para tener una superficie uniforme antes de continuar con la soldadura. Luego, se procede con su respectiva inspección. Posteriormente, se realiza un desbastado para asegurar que no existan rebabas o aristas vivas. Finalmente, se realiza una inspección final de dimensiones y acabados. Si el producto cumple con las especificaciones, se

almacena como producto terminado; en caso contrario, se descarta o retrabaja según sea necesario.

- Diagrama de Procesos Acople Motor-Polea:

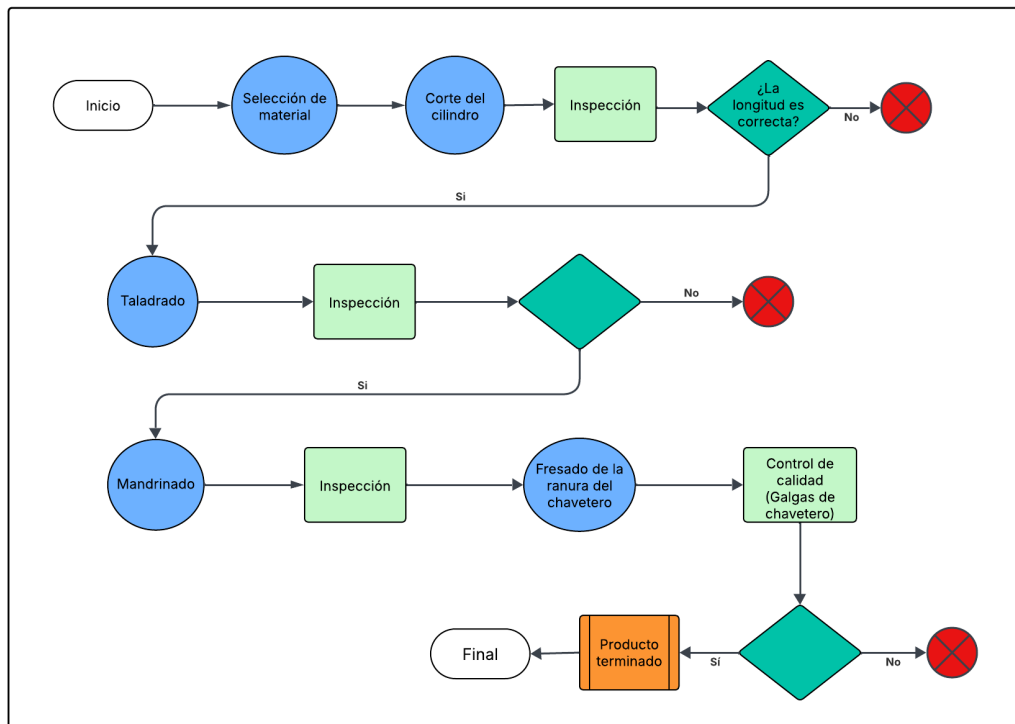


Figura #17. Diagrama de Procesos Acople Motor-Polea

El diagrama de flujo muestra la fabricación del acople motor-polea. Inicia con la selección del material, corte del cilindro e inspección de la longitud. Luego, se realiza un taladrado de 30 mm de profundidad, seguidos de inspección y mandrinado. Después, se verifica la calidad, se fresa la ranura del chavetero y se controlan las dimensiones con galgas de ambos chaveteros realizados.

- Diagrama de Procesos Cubierta de Seguridad:

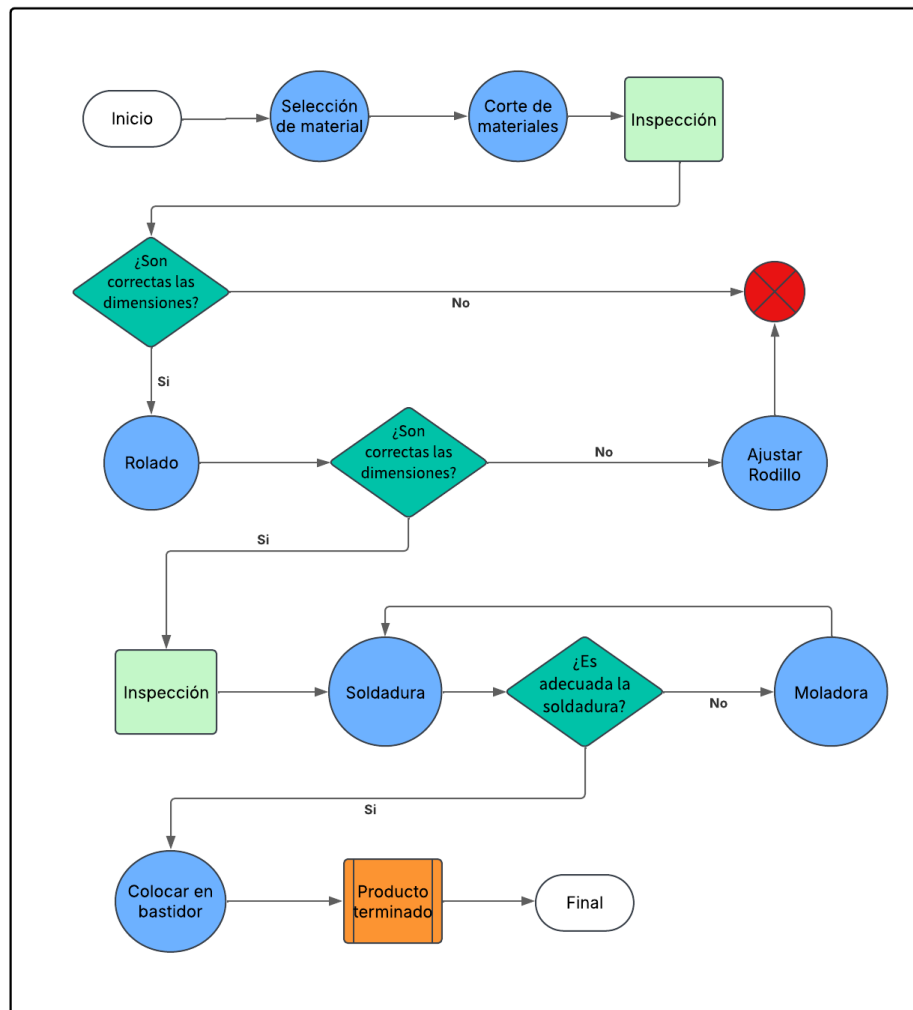


Figura #18. Diagrama de Procesos Cubierta de Seguridad

El diagrama muestra el proceso de fabricación de la cubierta de seguridad, iniciando con la selección de materiales y corte con láser. Luego, se emplea el rolado siguiendo el plano para tener dimensiones exactas. Posteriormente, pasa por una inspección y se ensambla mediante soldadura. Finalmente, si el producto cumple con las especificaciones, se ubica como terminado, caso contrario, se utiliza la amoladora para retirar la unión de soldadura y repetir dicho proceso.

- Diagrama de Procesos Base de Colador:

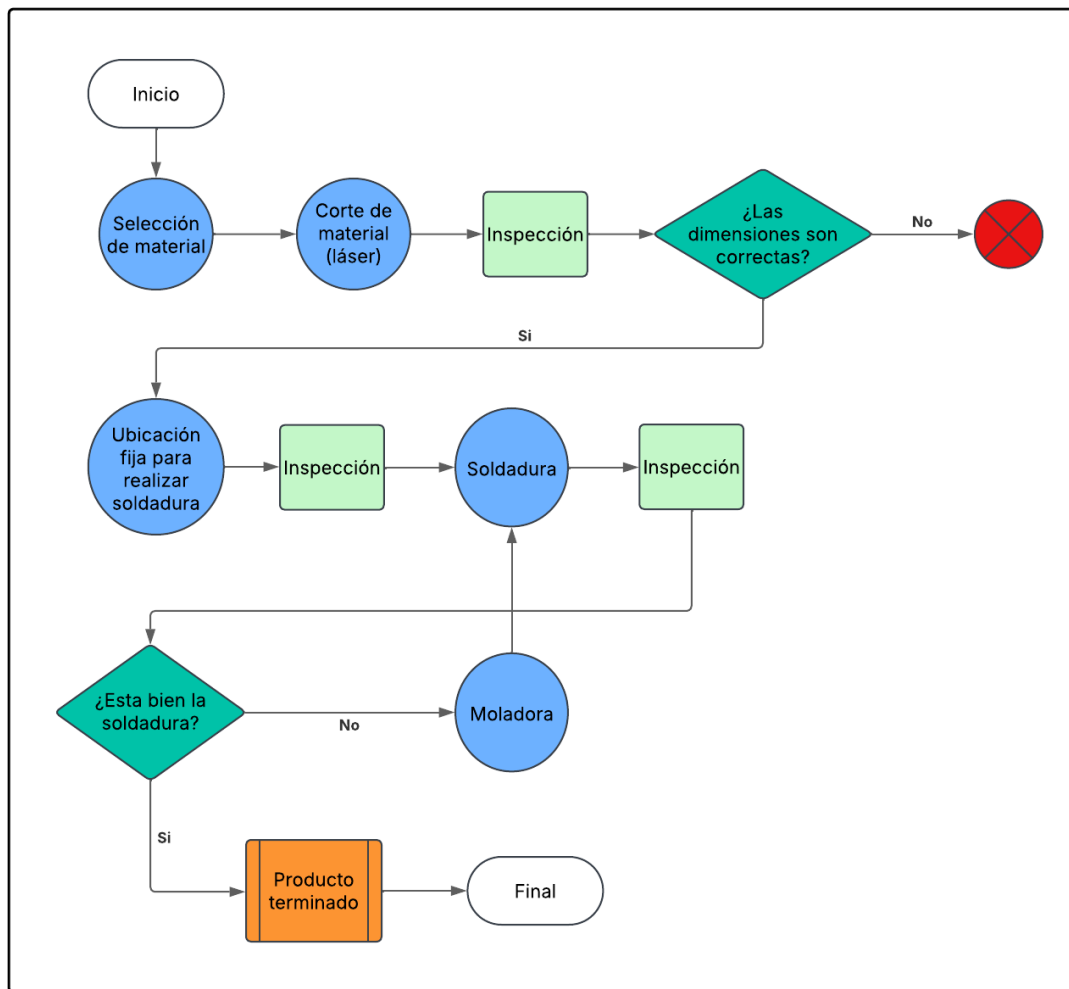


Figura #19. Diagrama de Procesos Base de Colador

El proceso de fabricación de la base del colador comienza con la selección y el corte con láser de acero inoxidable mate. Luego, se realiza la verificación correspondiente de las dimensiones ejecutadas. Después, se fijan las piezas para poder soldarlas. En el caso de que no haya sido soldado de manera correcta, se cortan las uniones (amoladora) para volver a soldar. Finalmente, en el caso de que pase satisfactoriamente el proceso de soldadura se termina el proceso.

- Diagrama de Procesos Tapa Selladora Circular de Cojinete:

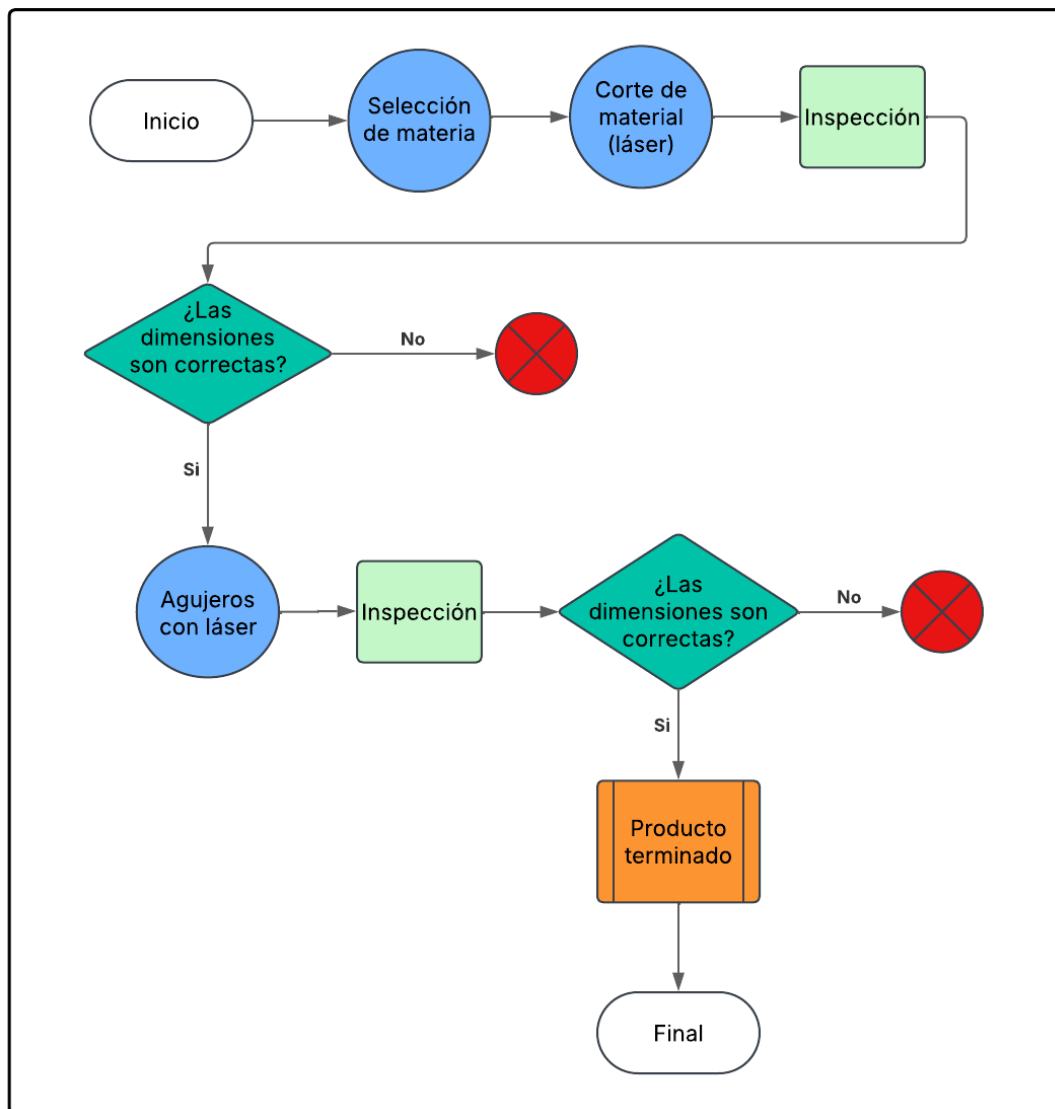


Figura #20. Diagrama de Procesos Tapa Selladora Circular de Cojinete

Como se puede observar, el proceso de fabricación de la tapa selladora circular de cojinete comienza con la selección del material y corte a láser en forma circular para obtener la base de la pieza. Luego, se realizan varios agujeros a láser, los cuales son para insertar los tornillos sin fin de cuatro agujeros. En el caso de que las medidas estén correctas se termina el proceso, caso contrario, se desecha.

- Diagrama de Procesos Sistema de sujeción de Tapa Selladora Circular de Cojinete:

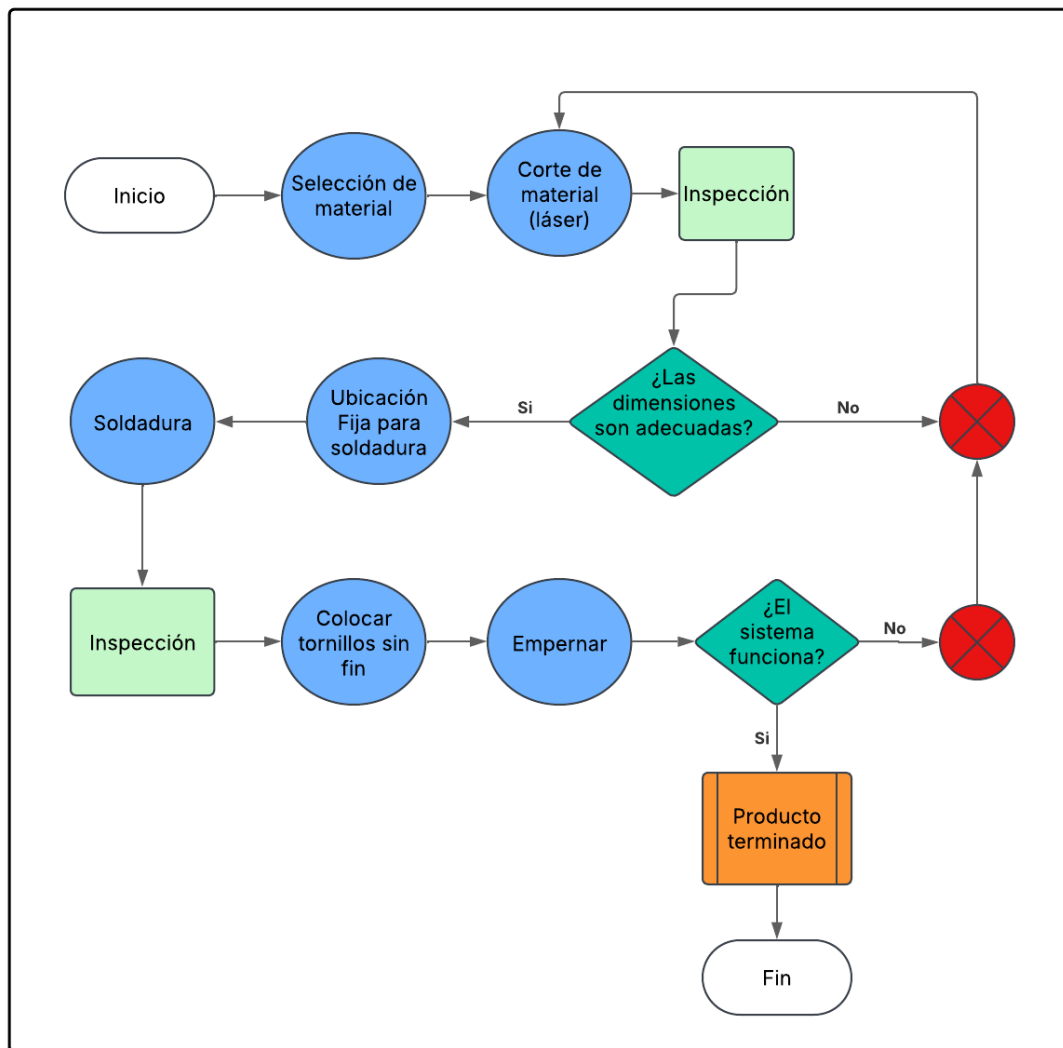


Figura #21. Diagrama de Procesos Sistema de sujeción de Tapa Selladora Circular de Cojinete

En este diagrama de procesos, se inicia con la adquisición del material (platinas y tornillos sin fin de acero). Los cuales deben posteriormente pasar por un proceso de corte con láser. Después, por un proceso de inspección para poder unir las piezas por medio de soldadura. Y finalmente, por una inspección donde se corrobora que la ubicación de las platinas y los agujeros de los tornillos sin fin sea la precisa. En el caso de que eso suceda se entrega el producto final.

- Diagrama de Procesos Tanque de agua (Sistema de enfriamiento):

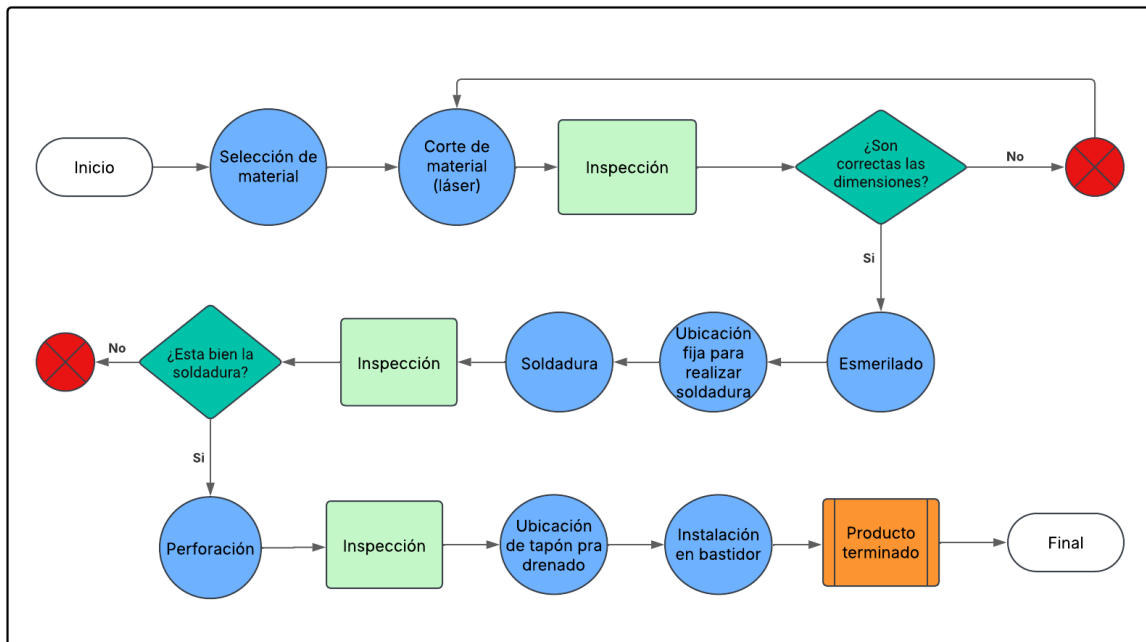


Figura #22. Diagrama de Procesos Tanque de agua (Sistema de enfriamiento)

El diagrama de flujo muestra el proceso de fabricación del tanque de agua. Que inicia con la selección del material y el corte de cada lado por láser. Luego se realiza una inspección dimensional; si las medidas son correctas, se pasa al esmerilado y después a la preparación del área de soldadura. Una vez soldado, se hace otra inspección para validar la calidad. Si es aceptada, se continúa con la perforación, seguida por la colocación del tapón de drenado en la parte inferior y finalmente la instalación en el bastidor, lo cual completa el proceso con un producto terminado.

- Diagrama de Procesos Extensión de soporte para Colador:

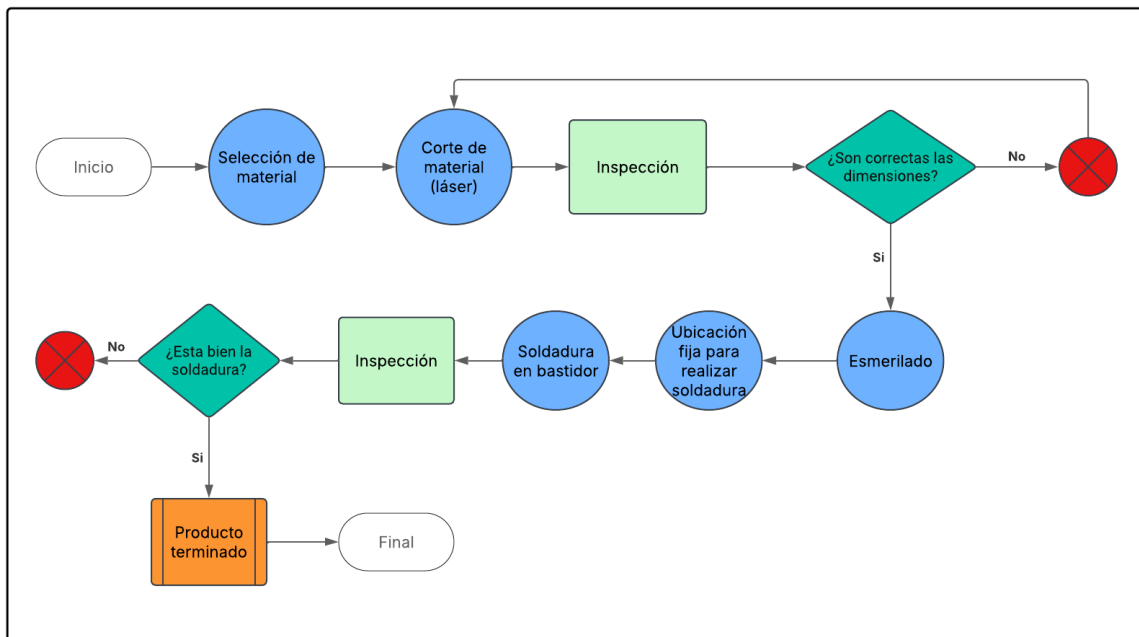


Figura #23. Diagrama de Procesos Extensión de soporte para Colador

Este diagrama describe el proceso de fabricación de una extensión metálica que funciona como soporte para el colador. El proceso comienza con la selección del material y el corte por láser, seguido de una inspección dimensional. Si las dimensiones son correctas, se realiza un esmerilado para preparar la superficie y se ubica la pieza en una posición fija para la soldadura. Luego se realiza la soldadura en el bastidor y se lleva a cabo una inspección de calidad. Si la soldadura es adecuada, el producto se considera terminado.

Para finalizar, se presenta el diagrama de flujo de procesos del ensamble general de la máquina de fundición centrífuga, el cual integra todos los subsistemas desarrollados a lo largo del proyecto. Este ensamble considera la incorporación del sistema de refrigeración, caja de control, motor trifásico, variador de velocidades, mandril, cubierta de seguridad, colador, tanque de agua y el sistema de calentamiento. La secuencia del proceso permite visualizar cómo cada componente se conecta de forma ordenada para lograr el funcionamiento completo y seguro de la máquina.

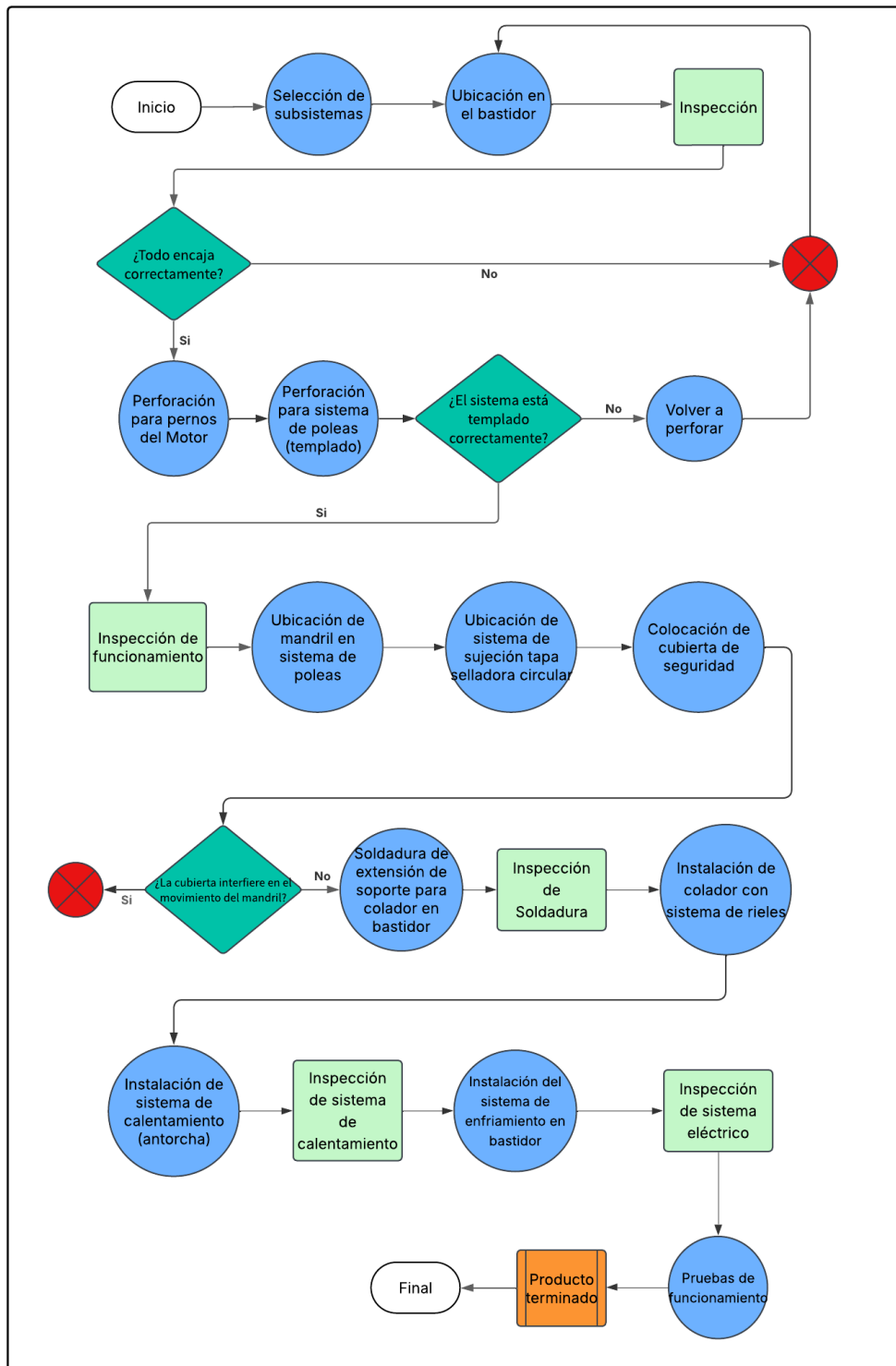


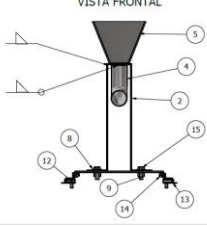
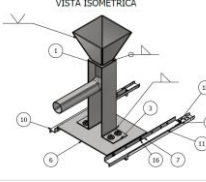
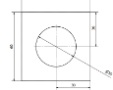
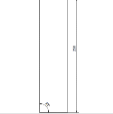
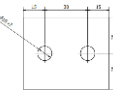
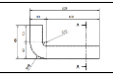
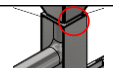
Figura #24. Diagrama de Procesos Ensamble General de la máquina

A continuación, se mostrarán las hojas de procesos que se deberán seguir para la fabricación de los elementos.

Las hojas de procesos detallan cada una de las etapas necesarias para la fabricación de los componentes de la fundidora centrífuga. En ellas se especifican los materiales, herramientas y métodos de mecanizado empleados en cada pieza, permitiendo tener control, calidad y precisión en la manufactura. Estas hojas sirven como guía para los operadores, facilitando la ejecución de cada proceso y garantizando que se cumplan los estándares técnicos del mismo. La presente sección incluye los procedimientos para la fabricación de piezas clave que fueron presentadas en la Tabla #11.

- Hoja de Procesos Colador de Babbitt:

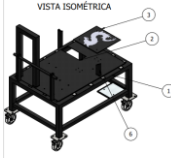
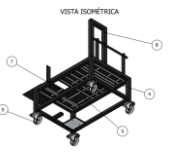
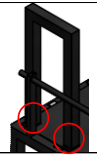
Tabla #13. Hoja de Procesos Colador de Babbitt

Hoja de Procesos									
	Conjunto		Colador de Babbitt	Material	Acero Inoxidable 304 (Espesor de 3 mm)				
	Plano		2025-FC-C1.1	Dimensiones en bruto	283,45 mm x 116,12 mm x 330 mm				
	Realizado		Sebastián Acurio	Comprobado	Nicolás Ortiz				
	Fecha		11/03/2025	Fecha	09/05/2025				
	VISTA FRONTAL				VISTA ISOMÉTRICA				
									
No. Item	Tarea	Mecanizado	Parámetros	Esquema	Tiempo de máquina	Herramienta de control	Velocidad de Corte (mm/min)	Revoluciones (RPM)	
5	Corte a láser de 4 chapas. La geometría se encuentra en la vista frontal.	Corte láser	Ancho=120 mm, Diagonal=115 mm, Base= 40 mm. Tolerancias= ±0,3mm		20 min	Cinta métrica, Calibrador vernier	N/A	N/A	
1	Corte a láser de un recuadro con orificio central para flujo de metal líquido.	Corte láser	60 mm x 60 mm. Diámetro= 35 mm Tolerancias= ±0,01 mm		10 min	Cinta métrica, Calibrador vernier	N/A	N/A	
2	Corte a láser de 2 unidades de las columnas del colador.	Corte láser	Altura=250 mm, Ancho= 60 mm, Tolerancias= ±0,01 mm		10 min	Cinta métrica, Calibrador vernier	N/A	N/A	
3	Corte a láser de 2 unidades de los soportes del colador. Los cuales van empernados al ítem #6.	Corte láser	Altura=50 mm , Largo=60 mm, Diámetros=10 mm Tolerancias= ±0,01 mm		10 min	Cinta métrica, Calibrador vernier	N/A	N/A	
4	Rolado y corte del tubo por el cual fluye el metal fundido.	Prensa hidráulica / Corte con sierra semiautomática	Longitud= 260 mm, Ángulo de 90°		5 min	Cinta métrica, Calibrador vernier	N/A	N/A	
	Soldadura de las 4 geometrías (ítem #5), con la base con orificio (ítem #1) para obtener la geometría mostrada en esquema.	Soldadura TIG	Electrodo de Tungsteno WR2. Corriente Continua. Amperaje=100-250A		30 min	Inspección Visual	N/A	N/A	
	Soldadura del tubo del colador (ítem #4) con (ítem #1). Es una soldadura en contorno al círculo del tubo para que encaje perfectamente en el orificio superior y pueda fluir el metal fundido.	Soldadura TIG	Electrodo de Tungsteno WR2. Corriente Continua. Amperaje=100-250A		15 min	Inspección Visual	N/A	N/A	
	Soldadura de las 2 columnas del colador (ítem #2) con (ítem #1). Es una soldadura en los lados para que se pueda sostener el colador.	Soldadura TIG	Electrodo de Tungsteno WR2. Corriente Continua. Amperaje=100-250A		15 min	Inspección Visual	N/A	N/A	
	Soldadura de las 2 soportes del colador (ítem #3) con (ítem #2). Es una soldadura en los lados para que se pueda sostener el colador y se emperne con el ítem #6.	Soldadura TIG	Electrodo de Tungsteno WR2. Corriente Continua. Amperaje=100-250A		15 min	Inspección Visual	N/A	N/A	

Cabe mencionar, que en la imagen del ensamble completo se observan algunas piezas las cuales no constan dentro de la hoja de procesos (ítem #6 al ítem #18). Esto se debe a que son piezas que no son fabricadas por el equipo, sino que son compradas o en el caso del ítem #6 que lleva otro proceso, el cual se lo puede observar en la Tabla #5.

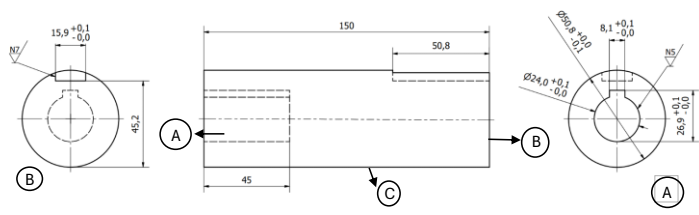
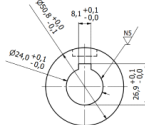
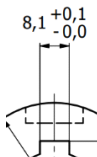
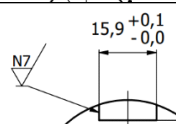
- Hoja de Procesos bastidor:

Tabla #14. Hoja de Procesos Bastidor

		Hoja de Procesos						
		Conjunto	Bastidor	Material	Acero A36			
		Plano	2025-FC-M1.1	Dimensiones en bruto	1100 mm x 750 mm			
		Realizado	Sebastián Acurio	Comprobado	Nicolás Ortiz			
		Fecha	11/03/2025	Fecha	09/05/2025			
								
No. Item	Tarea	Mecanizado	Parámetros	Esquema	Tiempo de máquina	Herramienta de control	Velocidad de Corte (mm/min)	Revoluciones (RPM)
2	Corte de chapa metálica de 3mm de espesor para ubicarla encima de la estructura metálica.	Corte láser	Largo=1010 mm, Altura=660 mm, Diámetros=12, 8, 4 mm (según el plano). Tolerancia ±0,01 mm		10 min	Calibrador vernier, cinta métrica	N/A	N/A
2	Desbastado de la superficie de chapa metálica para poder darle un acabado antes de soldarla en la estructura.	Disco de desbaste	N/A		20 min	N/A	N/A	N/A
	Soldadura en todo el contorno de chapa metálica (item #2) en estructura rígida de mesa. La soldadura debe ser alrededor de todas las superficies que están en contacto con la mesa.	Soldadura TIG	Electrodo de Tungsteno WR2. Corriente Continua. Amperaje=100-250A		30 min	Inspección Visual	N/A	N/A
	Soldadura en todo el contorno que está en contacto entre la estructura de soporte de la caja de control y el item #2.	Soldadura TIG	Electrodo de Tungsteno WR2. Corriente Continua. Amperaje=100-250A		15 min	Inspección Visual	N/A	N/A
	Soldadura en todo el contorno que está en contacto entre la columna de soporte de la cubierta de seguridad (item #6) y el item #1.	Soldadura TIG	Electrodo de Tungsteno WR2. Corriente Continua. Amperaje=100-250A		15 min	Inspección Visual	N/A	N/A

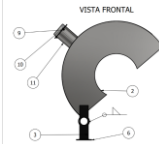
- Hoja de Procesos Acople Motor-Polea:

Tabla #15. Hoja de Procesos Acople Motor-Polea

		Hoja de Procesos						
		Conjunto	Acople Motor-Polea	Material	Acero AISI 1018			
		Plano	2025-FC-E1.2	Dimensiones	L=150mm x D=50,8mm			
		Realizado	Nicolás Ortiz	Comprobado	Alfredo Valarezo			
		Fecha	11/03/2025	Fecha	09/05/2025			
								
No. Item	Tarea	Mecanizado	Parámetros	Esquema	Tiempo de máquina	Herramienta de control	Velocidad de corte (mm/min)	Revoluciones (RPM)
C	Corte del largo del cilindro de acero.	Sierra semiautomática	Largo=150 mm ± 0,25mm		10 min	Cinta métrica, Calibrador vernier	500-800	N/A
A	Taladrado en la zona A para obtener un agujero para el eje del motor.	Torno	Largo=45 mm, Diámetro= 26,9 mm ± 0,1mm		20 min	Calibrador vernier	80-120	300-500
A	Brochado en zona A para realizar el chavetero del motor trifásico.	Torno	Ancho=8,1 mm ± 0,1mm, Largo= 45 mm		15 min	Calibrador vernier	80-120	N/A
B	Fresado en la parte superior de la zona B para chaveta de polea.	Fresadora	Largo=50,8 mm, Ancho= 15,9 mm ± 0,1mm		20 min	Calibrador vernier	N/A	N/A

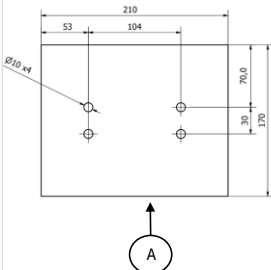
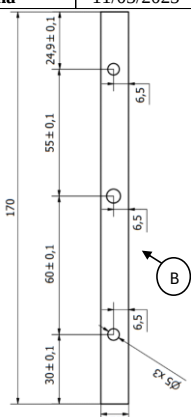
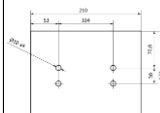
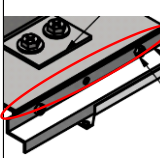
- Hoja de Procesos Cubierta de Seguridad:

Tabla #16. Hoja de Procesos Cubierta de Seguridad

		Hoja de Procesos						
		Conjunto	Cubierta de Seguridad	Material	Acero Inoxidable 430 (espesor de 3 mm)			
		Plano	2025-FC-T1.1	Dimensiones en bruto	500 x 286 mm			
		Realizado	Nicolás Ortiz	Comprobado	Alfredo Valarezo			
		Fecha	11/03/2025	Fecha	09/05/2025			
								
No. Item	Tarea	Mecanizado	Parámetros	Esquema	Tiempo de máquina	Herramienta de control	Velocidad de corte (mm/min)	Revoluciones (RPM)
1	Corte de chapa para realizar rolado de la cubierta principal.	Corte láser	Largo=853,6 mm, Ancho=180 mm, Tolerancia ±1 mm		10 min	Flexómetro	N/A	N/A
1	Rolado del ítem #1 para obtener la geometría principal de la cubierta de seguridad.	Roladora	Radio = 250 mm, Tolerancia ±1 mm		15 min	Flexómetro	N/A	N/A
4	Corte de longitud tubo (ítem #4)	Sierra semiautomática	Largo= 255 mm, Diámetro= 1,5 pulgadas, Tolerancia ±1 mm		5 min	Calibrador	100-180	N/A
2	Corte de 2 unidades de (ítem #2)	Corte láser	Radio= 100 mm, Largo= 494 mm, Tolerancia ±1 mm		10 min	Flexómetro	N/A	N/A
10	Corte láser de chapa (ítem #10) para ubicar en la parte superior de la cubierta con un termómetro.	Corte láser	Diámetro= 84mm, Diámetro interior= 10mm, Diámetro alrededor= 5 mm.		5 min	Calibrador vernier, Flexómetro	N/A	N/A
3	Corte de 2 tubos cuadrados (ítem #3) con orificio en la mitad para introducir el tubo giratorio (ítem #4). Para realizar ese orificio se debe hacer con taladro.	Sierra semiautomática / Taladro	Largo= 40 mm, Alto=157 mm, Diámetro= 38mm, Tolerancia ±1 mm		15 min	Calibrador vernier, Flexómetro	N/A	N/A
6	Corte de 2 platinas (ítem #6), cuales van ir ubicadas en la parte inferior del ítem #3 para emperarlo a la mesa.	Corte láser	Largo= 70 mm, Altura= 50 mm, Diámetro= 5 mm, Tolerancia ±1 mm		10 min	Calibrador vernier	N/A	N/A
	Soldadura en ambos lados para unir cubierta de seguridad (ítem #1) con paredes de cubierta (ítem #2).	Soldadura TIG	Electrodo: E308L-16, Amperaje: 40-90 A		30 min	Inspección Visual	N/A	N/A
	Soldadura para unir cubierta de seguridad (ítem #1) con tubo giratorio (ítem #4). Realizar a lo largo del tubo.	Soldadura TIG	Electrodo: E308L-16, Amperaje: 40-90 A		30 min	Inspección Visual	N/A	N/A
	Soldadura para unir los 2 tubos cuadrado (ítem #3) con las platinas de base (ítem #6)	Soldadura TIG	Electrodo: E308L-16, Amperaje: 40-90 A		15 min	Inspección Visual	N/A	N/A
	Soldadura para unir chapa (ítem #10), con la parte superior de la cubierta (ítem #1). La soldadura debe hacerse en el contorno del ítem #10.	Soldadura TIG	Electrodo: E308L-16, Amperaje: 40-90 A		15 min	Inspección Visual	N/A	N/A

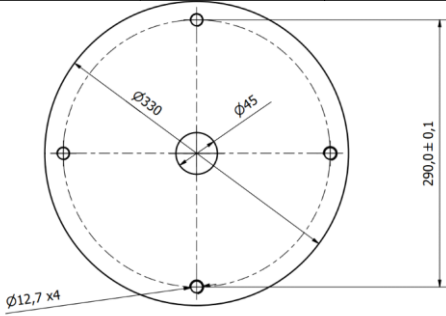
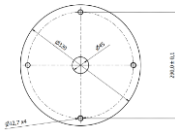
- Hoja de Procesos Base de Colador:

Tabla #17. Hoja de Procesos Base Colador

Hoja de Procesos								
			Conjunto	Base Colador	Material	Acero Inoxidable 304 (espesor de 3 mm)		
			Plano	2025-FC-C1.3	Dimensiones en bruto	210mm x 170mm x 12mm		
			Realizado	Nicolás Ortiz	Comprobado	Alfredo Valarezo		
			Fecha	11/03/2025	Fecha	11/03/2025		
								
No. Item	Etap	Mecanizado	Parámetros	Esquema	Tiempo de máquina	Herramienta de control	Velocidad de Corte (mm/min)	Revoluciones (RPM)
A	Corte láser de chapas con agujeros (item A).	Corte láser	Largo=210 mm, Altura=170 mm, Diámetro= 10 mm. Tolerancia ±1 mm		5 min	Calibrador Vernier	N/A	N/A
B	Corte láser de 2 chapas con agujeros (item B). Las 2 unidades tienen las mismas dimensiones y agujeros.	Corte láser	Largo=12 mm, Altura=170 mm, Diámetro= 5 mm. Tolerancia ±1 mm		5 min	Calibrador Vernier	N/A	N/A
	Soldadura para unir item A con item B. La soldadura es a lo largo del item B (zona de contacto con A) en ambos lados. Soldar en las longitudes que son similares entre ambos items.	Soldadura TIG	Electrodo: E308L-16, Amperaje: 40-90 A.		20 min	Inspección Visual	N/A	N/A

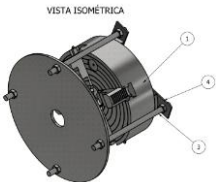
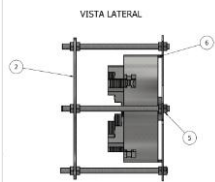
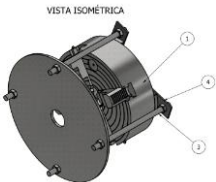
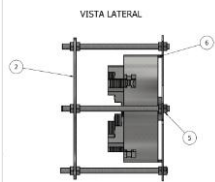
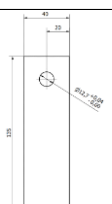
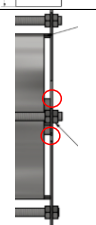
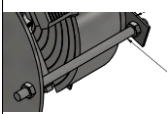
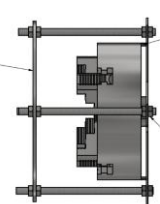
- Hoja de Procesos Tapa Selladora Circular de Cojinete:

Tabla #18. Hoja de Procesos Tapa Selladora Circular de Cojinete

Hoja de Procesos								
			Conjunto	Tapa Selladora Circular	Material	Acero Inoxidable 430 (espesor de 6 mm)		
			Plano	2025-FC-S1.2	Dimensiones en bruto	Ø 330		
			Realizado	Nicolás Ortiz	Comprobado	Alfredo Valarezo		
			Fecha	13/03/2025	Fecha	09/05/2025		
								
No. Item	Tarea	Mecanizado	Parámetros	Esquema	Tiempo de máquina	Herramienta de control	Velocidad de Corte (mm/min)	Revoluciones (RPM)
1	Corte de plancha con geometría circular y 4 orificios (como indica el esquema).	Corte láser	Diámetro externo= 330 mm, Diámetro interno= 45 mm, Diámetros alrededor= 12,7 mm. Tolerancias ±0,5mm.		10 min	Flexómetro, Calibrador vernier	N/A	N/A

- Hoja de Procesos Sistema de sujeción de Tapa Selladora Circular de Cojinete

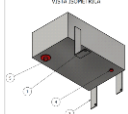
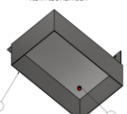
Tabla #19. Hoja de Procesos Sistema de sujeción de Tapa Selladora Circular de Cojinete

Hoja de Procesos								
								
No. Item	Tarea	Mecanizado	Parámetros	Esquema	Tiempo de máquina	Herramienta de control	Velocidad de Corte (mm/min)	Revoluciones (RPM)
4	Corte de 4 platinas rectangulares (item #4) con orificio en la parte superior.	Corte láser	Ø=12,7 mm, Alto=135 mm, Ancho= 40mm. Tolerancias ±0,5 mm		10 min	Flexómetro, Calibrador vernier	N/A	N/A
	Soldadura de platinas de soporte rectangulares (item #4) con sistema de sujeción de Mandril. La soldadura es en U.	Soldadura TIG	Electrodo: E308L-16. Amperaje: 50-90 A		30 min	Inspección Visual	N/A	N/A
	Calibración e instalación de tornillos sin fin en cada una de las platinas (item #4)	N/A	N/A		10 min	Inspección Visual	N/A	N/A
	Ajuste de tornillos sin fin con tapa selladora circular. Utilizando pernos indicados en parámetros.	N/A	Llave inglesa N°19. Pernos AS 2465 - 1/2 UNF		15 min	Inspección Visual	N/A	N/A

En esta hoja de procesos cabe resaltar, que el ítem #1 (Mandrill) y el ítem #3 (Tornillos sin fin), no constas en la hoja de procesos ya que son unas piezas que no se diseñaron sino, fueron adquiridas por medio de una tercera persona.

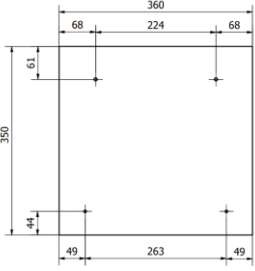
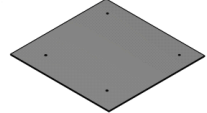
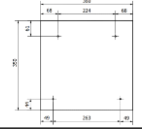
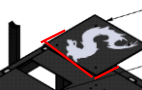
- Hoja de Procesos Tanque de Agua (Sistema de refrigeración):

Tabla #20. Hoja de Procesos Tanque de Agua (Sistema de refrigeración)

		Hoja de Procesos						
		Conjunto	Tanque de Agua	Material	Acero A36			
		Plano	2025-FC-HI.1	Dimensiones en bruto	400 mm x 250 mm x 150 mm			
		Realizado	Nicolás Ortiz	Comprobado	Alfredo Valarezo			
		Fecha	11/03/2025	Fecha	09/05/2025			
		VISTA ISOMÉTRICA				VISTA ISOMÉTRICA		
								
No. Item	Tarea	Mecanizado	Parámetros	Esquema	Tiempo de máquina	Herramienta de control	Velocidad de Corte (mm/min)	Revolución (RPM)
6	Corte de 2 chapas metálicas (espesor 2 mm) para la construcción de las paredes del tanque de agua.	Corte láser	Largo=400 mm, Altura= 150 mm, Tolerancia ±1 mm		15 min	Calibrador vernier, cinta métrica	N/A	N/A
6	Corte de 2 chapas metálicas (espesor 2 mm) para la construcción de las paredes del tanque de agua.	Corte láser	Largo=250 mm, Altura= 150 mm, Tolerancia ±1 mm		15 min	Calibrador vernier, cinta métrica	N/A	N/A
6	Corte de 1 chapa metálica (espesor 2 mm) para la construcción de la base del tanque de agua. Los diámetros que se observan son para conectar las tuberías y tapones del sistema de enfriamiento.	Corte láser	Largo=400 mm, Altura=250 mm, Diámetros=50 mm, 13 mm Tolerancia ±1 mm		20 min	Calibrador vernier, cinta métrica	N/A	N/A
2	Corte de 2 chapas metálicas (espesor de 3 mm) para que soporten el tanque de agua. Estas chapas serán soldadas a la estructura metálica de la mesa.	Corte láser	Largo=40 mm, Altura=200 mm, Diámetro=10 mm, Tolerancia ±1 mm		15 min	Calibrador vernier	N/A	N/A
1	Corte de una chapa metálica (espesor de 3 mm) para que soporte el tanque de agua. Estas chapas serán soldadas a la estructura metálica de la mesa.	Corte láser	Largo=40 mm, Altura=244 mm, Doblez=90° mm a los 73mm, Tolerancia ±1 mm		20 min	Calibrador vernier	N/A	N/A
	Soldadura de las paredes y la base del tanque de agua (ítem #6)	Soldadura TIG	Electrodo de Tungsteno WR2, Corriente Continua, Amperaje=100-250A		35 min	Inspección Visual	N/A	N/A
	Soldadura de 2 chapas metálicas (ítem #2) en cualquier lado de dimensiones 250 mm x 150 mm del ítem #6.	Soldadura TIG	Electrodo de Tungsteno WR2, Corriente Continua, Amperaje=100-250A		25 min	Inspección Visual	N/A	N/A
	Soldadura de 1 chapa metálica en U (ítem #1), en el lado opuesto al orificio de Ø50 (ítem 6).	Soldadura TIG	Electrodo de Tungsteno WR2, Corriente Continua, Amperaje=100-250A		25 min	Inspección Visual	N/A	N/A

- Hoja de Procesos Extensión soporte de Colador:

Tabla #21. Hoja de Procesos Extensión soporte de Colador

		Hoja de Procesos						
		Conjunto	Extensión soporte de Colador	Material	Acero A36 (espesor de 3 mm)			
		Plano	2025-FC-M1.4	Dimensiones en bruto	360 mm x 350 mm			
		Realizado	Nicolás Ortiz	Comprobado	Alfredo Valarezo			
		Fecha	11/03/2025	Fecha	09/05/2025			
								
No. Item	Etapas	Mecanizado	Parámetros	Esquema	Tiempo de máquina	Herramienta de control	Velocidad de Corte (mm/min)	Revoluciones (RPM)
	Corte láser de chapa con agujeros	Corte láser	Largo=360 mm, Altura=350 mm, Diámetro=3 mm. Tolerancia ±1 mm		10 min	Calibrador Vernier	N/A	N/A
	Soldadura para unir esta pieza con bastidor. La soldadura es a lo largo (350 mm) de zona de contacto con bastidor. Soldadura en U.	Soldadura TIG	Electrodo de Tungsteno WR2. Corriente Continua. Amperaje=100-250A (Zona de soldadura en rojo)		35 min	Inspección Visual	N/A	N/A

- Hoja de Procesos Ensamble General:

La hoja de procesos del ensamble general no se la presenta en esta sección ya que los pasos de ensamblado general de la máquina están especificados en el ANEXO B: MANUAL DE OPERACIÓN.

REPORTE DE DISEÑO

La máquina de fundición centrífuga para recubrimientos de cojinetes con Babbitt es una máquina robusta y pesada, la cual está diseñada para recubrir cojinetes de hasta 8 pulgadas. Al ser una máquina con varios subsistemas y pensada para reducir lo máximo posible las vibraciones, tiene dimensiones generales de 1.09 m x 0.74 m x 1.25 m y un peso aproximado de 232 kg. El presupuesto para la construcción de esta máquina fue de \$1.458,60, destinado a materiales, componentes mecánicos y mano de obra (soldaduras, torno, etc.). Para un funcionamiento óptimo, cuenta con varios subsistemas, los cuales son: el motor con control de velocidad, transmisión por bandas, sujeción del mandril, sistema de precalentamiento, sistema de enfriamiento y cubierta de seguridad. El diseño de la máquina se optimizó para poder resistir las cargas y fuerzas ejercidas por el torque al girar la máquina, así como para la reducción del uso de espacio, para así poder hacerla más compacta y, por ende, que tenga mayor movilidad. Las especificaciones técnicas y los criterios ingenieriles se encuentran en la Tabla #1, y Tabla #2 del presente documento.



Figura #25. Fundidora centrifuga construida.

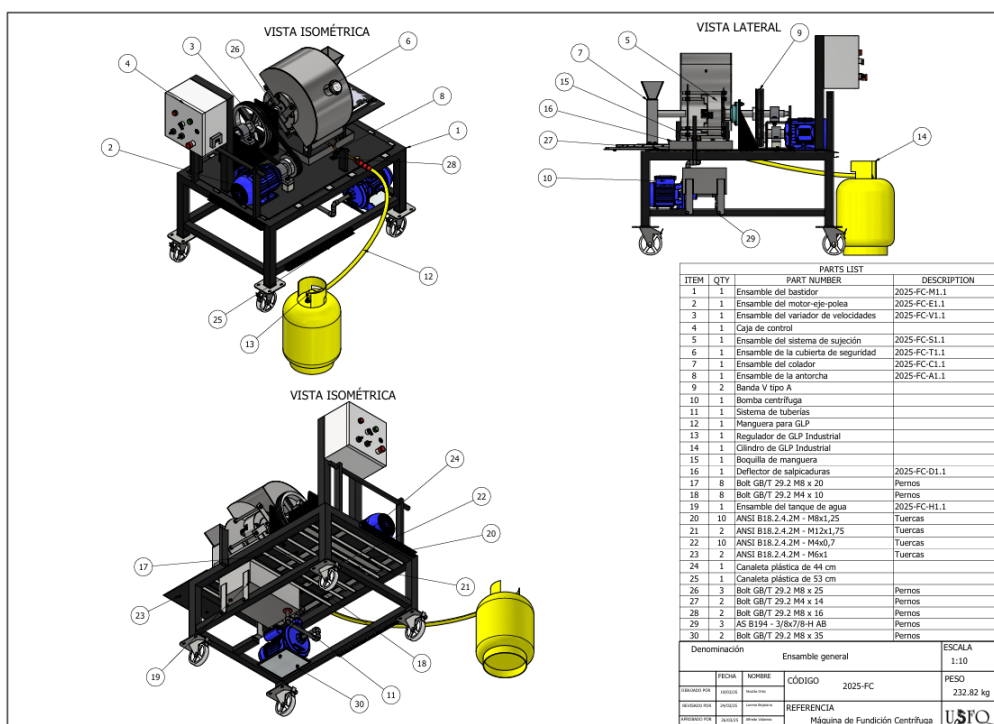


Figura #26. Plano de conjunto

Subsistemas y subcomponentes

El bastidor que sostiene el sistema está fabricado con una estructura de acero A36, reforzada además con una plancha de acero de 3 mm de espesor y dimensiones de 1010 mm x 650 mm, la cual cuenta con las debidas perforaciones y corte para el apoyo del sistema de rotación. Para reducir las vibraciones, se incorporó soportes adicionales hechos con barras de acero triangulares con dimensiones de 70 mm x 650 mm.

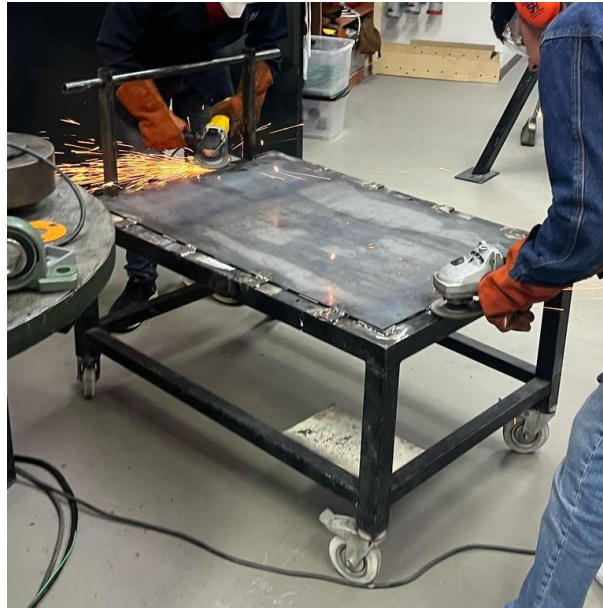


Figura #27. Mesa con plancha y parrilla instalada previo al ensamble con el sistema de transmisión

Los cojinetes para recubrir son sujetados con un mandril de 250 mm de diámetro (Tabla #19), el cual está fijado a un eje de 307 mm de largo y con un diámetro de 50 mm (ANEXO B: MANUAL DE OPERACIÓN, Tabla #4). El mandril está acoplado al eje mediante pernos de grado industrial. En la zona de unión se encuentran soldadas 4 chapas de acero inoxidable que cuentan con agujeros, que son atravesados por tornillos sin fin de 250 mm de largo. Todo esto con el fin de sujetar, una tapa selladora circular de acero inoxidable (ANEXO B: MANUAL DE OPERACIÓN, Tabla #5) de 330 mm de diámetro. A su vez, el eje está conectado a una polea de diámetro mayor, la cual permite la transmisión del movimiento rotacional desde el motor por medio del sistema de bandas (relación 2:1).



Figura #28. Cojinete sujetado con el mandril

Por otra parte, se tiene un motor trifásico, el cual está conectado a una fuente de poder de 220 V. Para control de las revoluciones del motor, está conectado un variador de frecuencia y un regulador, y de esta manera adaptar la velocidad en función de las dimensiones del cojinete. La caja de control está empernada a un perfil en forma de U fabricado de dos tubos cuadrados (50 mm x 50 mm, a una altura de 658.77 mm). El motor brinda una potencia de 3 HP. Esta potencia es transmitida a una polea de aluminio mediante un eje con chavetero interno para el acople del motor y un chavetero externo para la transmisión hacia la polea (Figura #29).

Con el fin de transmitir la potencia del motor al mandril, se escogió un sistema de transmisión por bandas con una relación de 2:1. Se tiene, como ya se describió, una polea pequeña de 114.3 mm con un agujero interno para un chavetero, acoplada directamente al eje del motor, así como una polea grande de 254 mm, la cual cumple la relación 1:2 y cuenta con un agujero interno de 40.5 mm. Este diseño permite reducir la velocidad de giro al mismo tiempo que se incrementa el torque, para que el eje soporte el peso del mandril y transmita el torque con las revoluciones necesarias.



Figura #29. Cojinete sujetado con el mandril

Otro subsistema importante es el de precalentamiento, ya que los cojinetes al ser sometidos a un proceso de recubrimiento deben alcanzar una temperatura de 250 [°C]. Para esto, se utilizó una antorcha alimentada con gas GLP industrial, la cual permitió alcanzar la temperatura requerida en un tiempo aproximado de 2 minutos y 41 segundos, cumpliendo con los tiempos establecidos en las pruebas realizadas.



Figura #30. Antorcha prendida precalentando el tubo

Por otro lado, se cuenta con un sistema de enfriamiento, el cual está conectado a una bomba centrífuga alimentada por una fuente de 110 V. Esta bomba, a su vez, está conectada

mediante un sistema de tuberías a una boquilla que expulsa un chorro de agua directamente sobre la pieza, logrando así el enfriamiento inmediato. Para el almacenamiento del agua, se utiliza un tanque de acero negro con dimensiones de 400 mm x 250 mm x 150 mm, el cual fue adaptado para cumplir con la capacidad necesaria del sistema.



Figura #31. Sistema de enfriamiento

Finalmente, la construcción tiene incluidos subcomponentes como son la cubierta de seguridad (Figura #32), la cual fue construida con acero inoxidable para evitar que se pierda lo menos posible la temperatura generada durante el precalentamiento, así como para evitar daños en caso de que el material fundido se fuge al momento de rotar.

El colador tiene como función transportar el Babbitt en estado líquido. El colador tiene una altura de 268 mm y su base rectangular está empernada a rieles que le permiten avanzar y retroceder, para así poder controlar la distribución del vertido dentro del cojinete (Tabla #13).



Figura #32. Cubierta de seguridad y Colador

Hoja de procesos

La hoja de ruta de diseño de la máquina de fundición centrífuga sirve como una guía general que muestra todos los pasos clave que se siguieron desde que se tuvo la idea inicial hasta que se logró construirla y hacer las primeras pruebas. En la Figura #33, se puede ver cómo fue este proceso durante todo el desarrollo del proyecto.

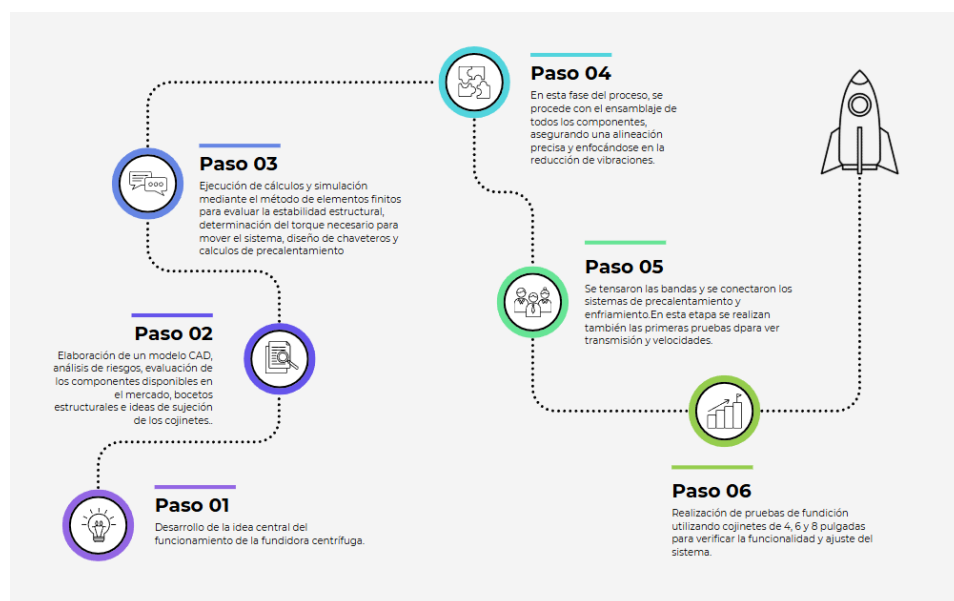


Figura #33. Hoja de ruta de diseño

Problemas de Diseño

La fundidora centrífuga, al momento de estar en operación, presenta una gran cantidad de vibraciones debido a las altas velocidades a las que trabaja. Esto puede afectar directamente los resultados del recubrimiento, ya que impide que el Babbitt se distribuya de forma uniforme por todo el tubo. Además, estas vibraciones también pueden comprometer la vida útil de la máquina, principalmente por las deformaciones que podrían generarse en el eje que sostiene el mandril.

Otro problema identificado en el diseño es el sello entre los cojinetes, el mandril y la tapa selladora circular, ya que, debido a dichas vibraciones, el sello podría desprenderse, haciendo que el proceso de fundición no sea seguro para el operario.

ANÁLISIS DE INGENIERÍA

1. Cálculos analíticos

Para los cálculos presentados, se toma como referencia un diámetro de cojinete de 6 pulgadas. Donde, considerando que no se cuenta con sustratos de cojinetes, se utilizará un tubo que simula dicho sustrato. Las siguientes dimensiones fueron consideradas para los cálculos realizados dentro de esta sección.

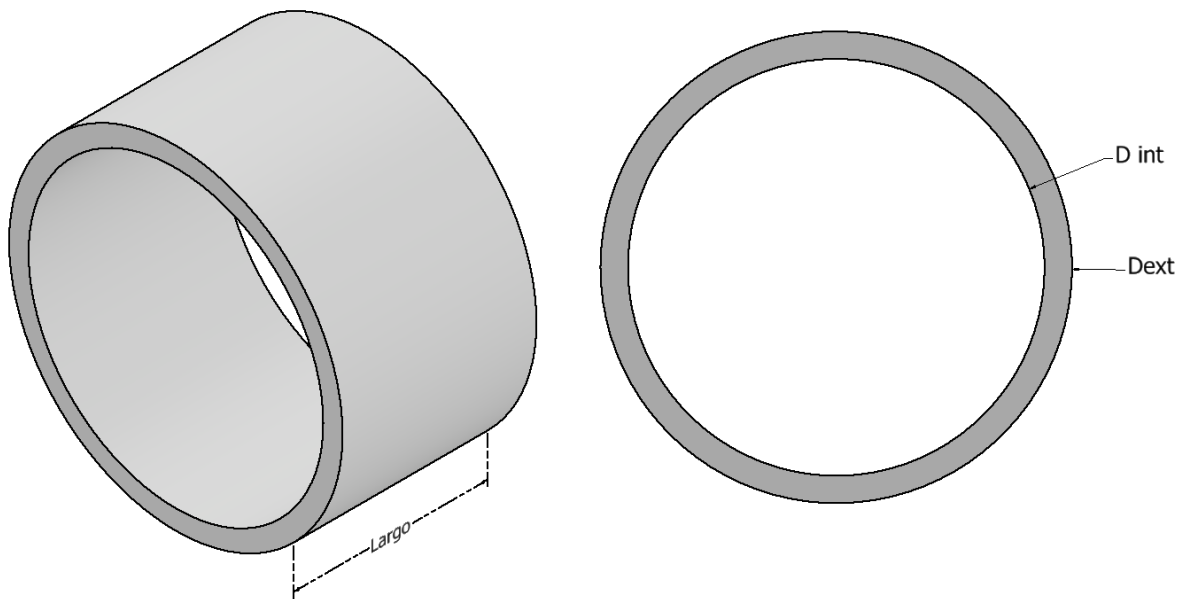


Figura #34. Diagrama de cilindro usado para el recubrimiento

Donde,

$$Largo = 0.1 \text{ m}$$

$$\text{Diámetro interno} = 0.172 \text{ m}$$

$$\text{Diámetro externo} = 0.152 \text{ m}$$

Además, se consideró las siguientes propiedades para el acero:

Tabla #22. Propiedades del acero

Propiedad	Valor	Unidad
Densidad del acero (ρ)	7800	kg/m ³
Calor específico del acero (C_p)	450	J/(kg·°C)
Conductividad térmica (k)	53	W/(m·°C)
Temperatura de Oxidación	150	°C

- **Cálculos de transmisión**
 - **Análisis de frecuencia de arranque**

Dentro del arranque del sistema, para determinar la frecuencia de arranque, se consideró una velocidad de arranque de 200 rpm y que el motor cuenta con 2 polos.

Velocidad de arranque motor → 200 rpm → eje salida 100 rpm

$$P = 2$$

$$N_s = \frac{120 \cdot f}{P} = \frac{120 (60)}{2} = 3600$$

Una vez calculada la velocidad síncrona del motor se calculó la frecuencia de arranque.

$$f = \frac{200 \cdot 2}{60} = 6.60 \text{ Hz} \rightarrow \text{Frecuencia de arranque}$$

- **Inercia de Mandril y Cojinete:**
 - **Cojinete:**

En el caso de la inercia del mandril y el cojinete se consideró la densidad del metal y las dimensiones de ambos componentes. Las dimensiones del cojinete corresponden a las siguientes:

$$d_{ext} = 0,172 \rightarrow r = 0,086 \text{ m}$$

$$d_{int} = 0,152 \rightarrow r = 0,076 \text{ m}$$

$$h = 0,1$$

$$V = \pi \cdot h \cdot (R^2 - r^2)$$

$$V = \pi \cdot (0,1) \cdot (0,086^2 - 0,076^2)$$

$$V = 5,089 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3$$

$$m = 5,089 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3 (7800)$$

$$m = 3,970 \text{ kg} \approx 4 \text{ kg}$$

$$I_{cojinete} = \frac{1}{2} \cdot m \cdot (R_{ext}^2 + R_{int}^2)$$

$$I_{cojinete} = \frac{1}{2} \cdot 4 \text{ kg} \cdot (0,081^2 + 0,076^2)$$

$$I_{cojinete} = 0,025 \text{ kg m}^2$$

▪ **Mandril:**

La masa y las dimensiones del mandril son las siguientes:

$$m = 28 \text{ kg}$$

$$d = 0,25 \text{ m}$$

$$I_{mandril} = \frac{1}{2} (28 \text{ kg}) (0,125)^2$$

$$I_{mandril} = 0,195 \text{ kg m}^2$$

▪ **Inercia total:**

Una vez determinados ambos valores de inercia se encontró la total generada.

$$I_{total} = I_{mandril} + I_{cojinete}$$

$$I_{total} = 0.219 + 0.025$$

$$I_{total} = 0.244 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$$

○ **Cálculos de torques, velocidades y aceleraciones angulares del sistema de transmisión**

Para los cálculos relacionados a los ejes del sistema de transmisión se usaron los siguientes datos:

$$P = 3 \text{ hp} \cdot 745.7 = 2237.1 \text{ W}$$

$$\text{Motor} \rightarrow 200 \text{ rpm}$$

$$\text{Transmisión} \rightarrow 100 \text{ rpm}$$

El torque del motor se obtiene con la relación de la velocidad angular y la potencia. Se debe tomar en cuenta que la eficiencia del motor es de 85.5%.

$$T_{motor} = \frac{P}{N \left(\frac{2\pi}{60} \right)} n$$

$$T_{motor} = \frac{2237.1}{200 \cdot \left(\frac{2\pi}{60} \right)} 0.855$$

$$T_{motor} = 91.32 \text{ Nm}$$

Una vez determinado el torque del motor, considerando la relación 2:1 se encontró el torque de transmisión.

$$T = T_{motor} \cdot 2$$

$$T = 182.65 \text{ Nm} \rightarrow \text{Torque de la transmisión}$$

Posteriormente, se encontró tanto la velocidad angular como la aceleración angular de arranque a 100 rpm.

▪ **Velocidad angular**

$$N_{arranque} = 100 \text{ rpm}$$

$$\omega_{f_{100}} = \frac{(2\pi N)}{60}$$

$$\omega_{f_{100}} = \frac{2 \cdot \pi \cdot 100}{60}$$

$$\omega_{f_{100}} = 10.47 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$$

▪ **Aceleración angular**

$$\alpha_{f_{arranque}} = \frac{10.47 \frac{\text{rad}}{\text{s}}}{35 \text{ s}}$$

$$\alpha_{f_{arranque}} = 3.49 \frac{\text{rad}}{\text{s}^2} \quad \Bigg| \quad \alpha_{f_{200}} = 6.98 \frac{\text{rad}}{\text{s}^2}$$

▪ **Torque de arranque**

Con los valores de inercia previamente calculados, así como la aceleración angular, se determinó el torque de arranque requerido para alcanzar la velocidad necesaria en el sistema de transmisión.

$$T_{arranque} = I_{total} \cdot \alpha_{f_{arranque}}$$

$$T_{arranque} = 0.244 \text{ kgm}^2 \cdot 3.49 \frac{\text{rad}}{\text{s}^2}$$

$$T_{arranque} = 0.852 \text{ Nm}$$

• **Cálculos de esfuerzos**

Para los esfuerzos cortantes generados debido al torque, se consideraron cálculos en las zonas más críticas de los componentes presentes dentro del sistema de transmisión. De tal manera, se calcularon los esfuerzos generados para el acople y para el eje.

○ **Esfuerzos en el agujero del acople motor-polea:**

En el caso del acople, el cálculo de esfuerzos se dividió en dos, para el agujero se consideró el concentrador de esfuerzo generado dado la geometría del acople.

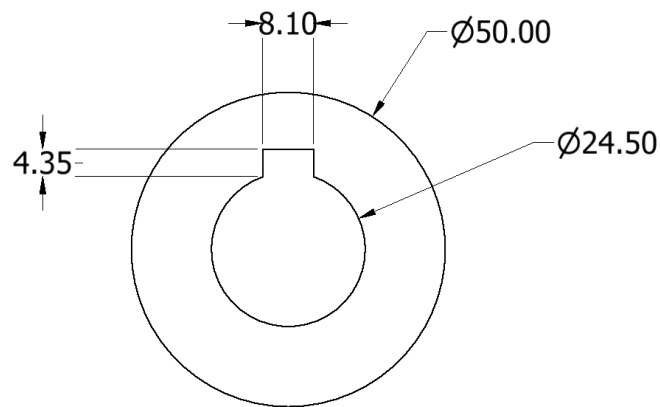


Figura #35. Vista frontal del acople

Datos:

$$d_{\text{externo}} = 50 \text{ mm} \rightarrow 0.05 \text{ m}$$

$$d_{\text{interno}} = 24.5 \text{ mm} \rightarrow 0.0245 \text{ m}$$

Concentrado de esfuerzo $K_{ts} = 3$

Ys acero 1018 = 220 MPa

Para determinar el esfuerzo cortante primero es necesario encontrar el momento de inercia polar:

$$J = \frac{\pi}{32} (d_{\text{externo}}^4 + d_{\text{interno}}^4)$$

$$J = \frac{\pi}{32} (0.05^4 + 0.0245^4)$$

$$J = 5.782 \cdot 10^{-7} \text{ m}$$

Una vez determinado el momento de inercia polar, es posible encontrar el esfuerzo cortante generado, así como el factor de seguridad.

$$\tau_{chavetero} = \frac{T_{max} \cdot c}{J}$$

$$\tau_{chavetero} = \frac{91.32 \text{ Nm} \cdot 0.025 \text{ m}}{5.782 \cdot 10^{-7} \text{ m}}$$

$$\tau_{chavetero} = 3.94 \text{ MPa}$$

$$\tau_{chavetero} = 3.94 \text{ MPa} \cdot K_{fs}$$

$$\tau_{chavetero} = 3.94 \text{ MPa} \cdot 3$$

$$\tau_{chavetero} = 11.82 \text{ MPa}$$

$$\eta = \frac{150 \text{ MPa}}{11.82 \text{ MPa}}$$

$$\eta = 12.69 \rightarrow \text{Factor de seguridad}$$

○ **Esfuerzos en la sección regular (Eje completo del acople)**

Una vez determinado el esfuerzo y factor de seguridad en el agujero del acople, se procedió a repetir el calculo, pero en este caso, para el eje completo del acople.

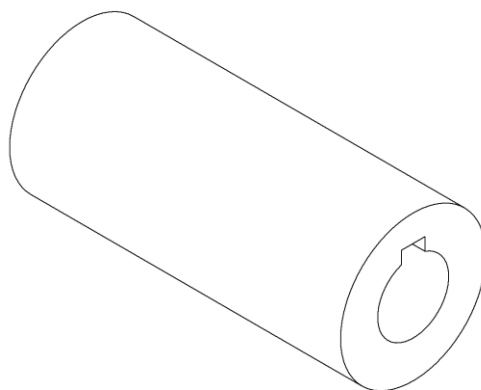


Figura #36. Vista Lateral del acople

$$J = \frac{\pi}{32} (d_{\text{externo}}^4)$$

$$J = \frac{\pi}{32} (0.05^4)$$

$$J = 6.136 \cdot 10^{-7} \text{ m}^4$$

$$\tau = \frac{91.32 \text{ Nm} \cdot 0.025 \text{ m}}{6.136 \cdot 10^{-7} \text{ m}^4}$$

$$\tau = 3.72 \text{ MPa}$$

$$\tau_c = \tau \cdot K_{fs}$$

$$\tau_c = 3.72 \cdot 3$$

$$\eta = \frac{150 \text{ MPa}}{11.16 \text{ MPa}}$$

$$\eta = 13.44 \rightarrow \text{Factor de seguridad}$$

○ **Esfuerzos en el eje de salida de polea:**

Para el eje del acople, se calculó el momento polar de inercia y posteriormente los esfuerzos y el factor de seguridad.

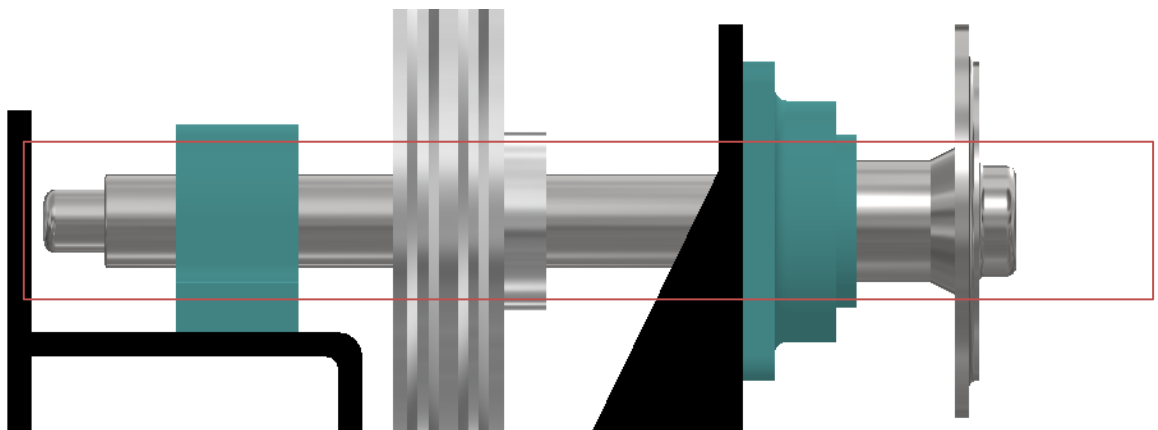


Figura #37. Vista Lateral eje de Polea

Primero se determinó el momento polar de inercia:

$$J = \frac{\pi}{32} (d_{\text{externo}}^4)$$

$$J = \frac{\pi}{32} (0.038^4)$$

$$J = 2.0471 \cdot 10^{-7} \text{ m}^4$$

Posteriormente, para el esfuerzo cortante aplicado se realizó el siguiente cálculo:

$$\tau = \frac{T_{\text{max}} \cdot c}{J}$$

$$\tau = \frac{181.847 \cdot 0.019}{2.0471 \cdot 10^{-7} \text{ m}^4}$$

$$\tau = 16.87 \text{ MPa}$$

También se determinaron los esfuerzos causados por flexión:

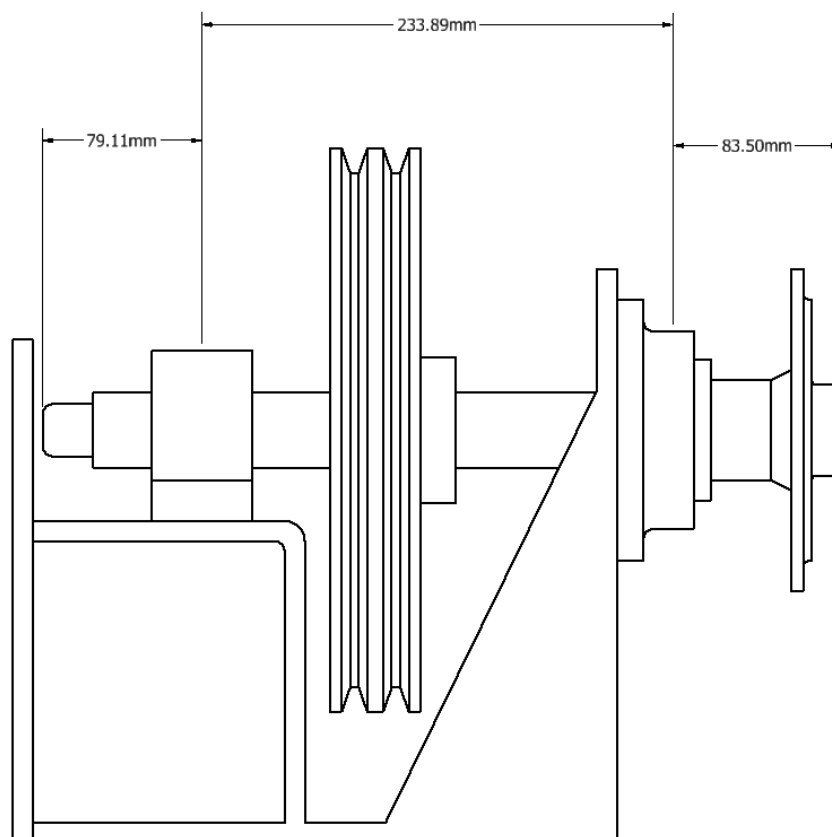


Figura #38. Eje y sus distancias a los apoyos

Ya que el mandril va acoplado en el extremo derecho, la representación del eje y el cálculo de sus reacciones sería el siguiente:



Figura #39. Representación en forma de viga

$$\sum F_y = 0$$

$$(1) R_A + R_B - W = 0$$

$$\sum M_A = 0$$

$$0.23389 \cdot R_B - 0.91698W = 0$$

$$(2) R_b = 1.355 \cdot W$$

$$(1) \rightarrow (2) R_A = -0.355 \cdot W$$

Peso del mandril = 274.68 N

Peso del cojinete = 49.05 N

$$R_A = -0.355 \cdot (323.73\text{N}) = -114.92\text{N}$$

$$R_b = 1.355 \cdot (323.73\text{N}) = 438.65\text{N}$$

Con las reacciones calculadas se obtiene los siguientes diagramas de momento y cortante:

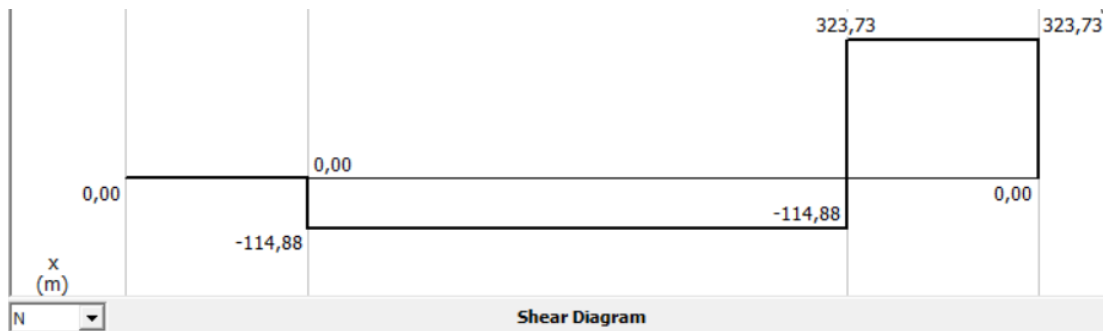


Figura #40. Diagrama de cortante del eje

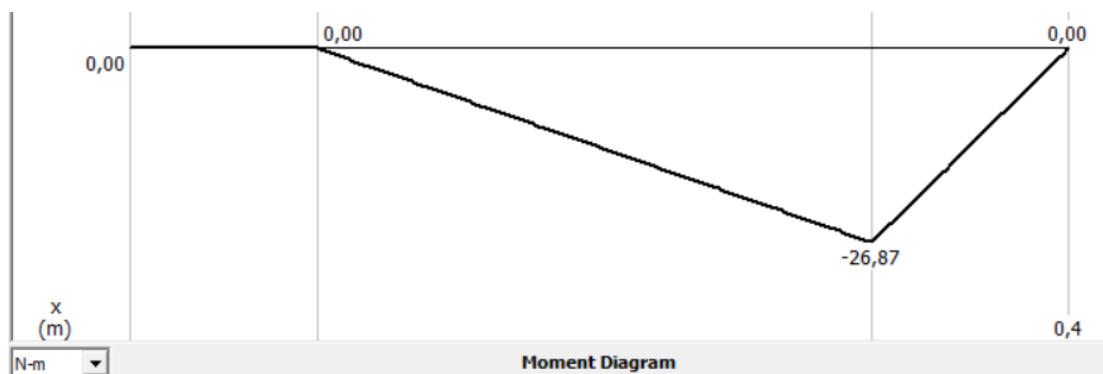


Figura #41. Diagrama de momento del eje

El valor máximo de momento flector es de $26.87 \text{ N} \cdot \text{m}$, por lo tanto, se puede obtener el esfuerzo flector máximo de la siguiente forma:

$$\sigma = \frac{Mc}{I}$$

$$\sigma = \frac{26.87 \text{ N} \cdot \text{m} \cdot (0.019 \text{ m})}{2.0471 \cdot 10^{-7} \text{ m}^4}$$

$$\sigma = 2.49 \text{ MPa}$$

Con los esfuerzos de cortante y flexión, se debe contemplar que los esfuerzos experimentados son en fatiga, por lo tanto, el esfuerzo alterno equivalente y el esfuerzo medio equivalente se presentan de la siguiente manera:

$$\sigma_a = K_f \cdot \sigma = 3 \cdot 2.49 \text{ MPa} = 7.47 \text{ MPa}$$

$$\tau_m = K_{fs} \cdot \tau = 3 \cdot 16.87 \text{ MPa} = 50.61 \text{ Pa}$$

Esfuerzo alternante equivalente:

$$\sigma_a' = \sqrt{(\sigma_a)^2 + 3 \cdot (\tau_a)^2}$$

$$\sigma_a' = \sqrt{(7.47 \text{ MPa})^2} = 7.47 \text{ MPa}$$

Esfuerzo medio equivalente:

$$\sigma_m' = \sqrt{(\sigma_m)^2 + 3 \cdot (\tau_m)^2}$$

$$\sigma_m' = \sqrt{3 \cdot (50.61 \text{ MPa})^2} = 87.67 \text{ MPa}$$

Para realizar un adecuado análisis de fatiga es necesario determinar el límite de resistencia a la fatiga corregido, haciendo uso de los siguientes factores:

Factor de superficie:

$$k_a = a(Su)^b \rightarrow \text{Laminado en frio o maquinado}$$

$$a = 4.51$$

$$b = -0.265$$

$$k_a = 4.51 \cdot (440)^{-0.265} = 0.9$$

Factor de modificación del tamaño:

$$k_b = 1.24 \cdot (38 \text{ mm})^{-0.107}$$

$$k_b = 0.84$$

Factor de modificación por la carga:

$$k_c = 0.577$$

Factor de confiabilidad:

$$k_e = 0.814 \rightarrow \text{confiabilidad de 95\%}$$

Obtenidos estos factores, se puede calcular el límite de fatiga de la siguiente forma:

$$S_e = k_a \cdot k_b \cdot k_c \cdot k_d \cdot k_e \cdot (0.5 \cdot Su)$$

$$S_e = 0.9 \cdot 0.84 \cdot 0.577 \cdot 0.814 \cdot 0.5 \cdot 440 \text{ MPa} = 78.11 \text{ MPa}$$

Finalmente, haciendo uso del criterio de Goodman, se puede determinar el factor de seguridad:

$$\eta = \frac{1}{\frac{\sigma_a'}{S_e} + \frac{\sigma_m'}{S_u}}$$

$$\eta = \frac{1}{\frac{7.47 \text{ MPa}}{78.11 \text{ MPa}} + \frac{87.67 \text{ MPa}}{440 \text{ MPa}}}$$

$$\eta = 3.39 \rightarrow \text{Factor de seguridad}$$

○ **Esfuerzos sobre la soldadura en la salida de la polea**

Otro análisis importante es el de soldadura a la salida de la polea para evaluar la resistencia de la unión creada. De tal forma, se realizaron cálculos de esfuerzos cortantes por torsión y de carga axial sobre la soldadura.

Diámetro del cordón de la soldadura = 38mm

Ancho de la soldadura(h) = 9.7mm

En primera instancia se calculó el momento polar de inercia a partir de la geometría del cordón:

$$J_u = 2 \cdot \pi \cdot 0.019 \text{ m}^3$$

$$J_u = 4.310 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3$$

$$J = h \cdot J_u$$

$$J = 0.0097 \cdot 4.310 \cdot 10^{-5}$$

$$J = 4.180 \cdot 10^{-7} \text{ m}^4$$

Una vez determinada la inercia para el esfuerzo secundario por torsión se utilizó la fórmula del esfuerzo cortante por torsión en la soldadura:

$$\tau'' = \frac{M \cdot c}{J}$$

$$\tau'' = \frac{181.847 \text{ N} \cdot \text{m} \cdot 0.019 \text{ m}}{4.180 \cdot 10^{-7} \text{ m}^4}$$

$$\tau'' = 8.72 \text{ MPa}$$

$$\text{Peso del mandril} = 274.68 \text{ N}$$

$$\text{Peso del cojinete} = 49.05 \text{ N}$$

$$A_{\text{soldadura}} = 1.414 \cdot \pi \cdot h \cdot r$$

$$A_{\text{soldadura}} = 1.414 \cdot \pi \cdot 0.0097 \text{ m} \cdot 0.019 \text{ m}$$

$$A_{\text{soldadura}} = 8.187 \text{ m}^2$$

Para el esfuerzo primario se usó la formula del esfuerzo cortante por carga axial sobre la soldadura:

$$\tau' = \frac{W}{A}$$

$$\tau' = \frac{323.73 \text{ N}}{8.187 \text{ m}^2}$$

$$\tau' = 0.395 \text{ MPa}$$

Una vez determinados los esfuerzos primarios y secundario, se encontró el esfuerzo cortante máximo sobre la soldadura y en consecuencia, el esfuerzo permisible tanto sobre el material base como en el material de aporte. Esto a su vez, permitió que se pueda calcular el factor de seguridad de la unión soldada.

$$\tau_{\max} = \left(\tau'^2 + \tau''^2 \right)^{1/2}$$

$$\tau_{\max} = (0.395^2 + 8.72^2)^{1/2}$$

$$\tau_{\max} = 8.79 \text{ MPa}$$

$$\tau_{\text{permisible} - \text{material de aporte}} = 128.1 \text{ MPa}$$

$$\tau_{\text{permisible} - \text{material base}} = 88 \text{ MPa}$$

$$\eta = \frac{88 \text{ MPa}}{8.279 \text{ MPa}}$$

$$\eta = 10.62 \rightarrow \text{Factor de seguridad}$$

- **Cálculo de resistencia del acople del mandril**

El análisis se centra en la resistencia del acople al mandril y de los pernos, considerando tanto el peso del mandril como el torque transmitido desde el eje hasta estos componentes para hacer girar el sistema. El cálculo se realiza en base a la resistencia a fatiga, ya que, debido a la rotación, los esfuerzos ejercidos sobre los pernos varían dado el cambio de dirección de las cargas. Para este análisis se usaron las siguientes dimensiones y propiedades para los pernos de grado 12.9. Además, también se consideraron las dimensiones y propiedades del acople del eje del variador de velocidades.

Tabla #23. Propiedades de los pernos y el acople

Propiedades de los pernos (Clase de Propiedad 12.9)	
Diámetro	0.008 m
Área del diámetro menor	$3.28 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2$
Ssu	817.4 MPa
Propiedades del acople (Acero 1018)	
Diámetro	0.013 m
Espesor	0.0061 m
Sy	370 MPa
Sut	440 MPa

Para determinar la fuerza que actúa sobre el acople y los pernos, se multiplica el torque transmitido por el eje por la distancia desde el centro del eje hasta el centro de los pernos. Esta distancia medida es $r = 43.3 \text{ mm}$. La fuerza resultante actúa de manera perpendicular al radio de giro, lo que influye directamente en los esfuerzos que experimentan los pernos y el acople.

Además, el peso del mandril se obtiene a partir de su masa, considerando la aceleración gravitatoria. Este peso contribuye a la carga total que deben soportar los pernos, sumándose al efecto del torque en el sistema.

$$F_{Mandril} = 32 \text{ kg} \cdot 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 313.92 \text{ N}$$

$$F_{transmitido} = \frac{182.65 \text{ Nm}}{43.3 \cdot 10^{-3} \text{ m}} = 4218.24 \text{ N}$$

Con estas fuerzas, se puede obtener tanto la fuerza máxima como la mínima. La fuerza máxima ocurre cuando la dirección de la fuerza transmitida desde el eje hacia el perno coincide con la dirección de la fuerza ejercida por el peso del mandril. mientras que la fuerza mínima se presenta cuando las direcciones son opuestas.

$$F_{max} = 4218.24 \text{ N} + 313.92 \text{ N} = 4532.16 \text{ N}$$

$$F_{min} = 4218.24 \text{ N} - 313.92 \text{ N} = 3904.32 \text{ N}$$

Por lo tanto, también se obtuvo la fuerza amplitud y la fuerza media.

$$F_a = \frac{4532.16 \text{ N} - 3904.32 \text{ N}}{2} = 313.92 \text{ N}$$

$$F_m = \frac{4532.16 \text{ N} + 3904.32 \text{ N}}{2} = 4218.24 \text{ N}$$

$$F_a = 104.64 \text{ N}$$

$$F_m = 1406.08 \text{ N}$$

○ **Resistencia de pernos**

Se cálculo el esfuerzo amplitud y el esfuerzo medio sobre el perno considerando que la fuerza se distribuye entre los tres pernos. Además, se aplicó la teoría del esfuerzo cortante máximo, la cual estipula que, para un cilindro en cortante, el esfuerzo se evalúa mediante el siguiente factor:

$$\tau_{max} = \frac{4}{3} \cdot \tau_{medio}$$

De tal manera, se obtuvo los siguientes rangos de esfuerzos en fatiga.

$$\tau_m = \frac{4}{3} \cdot \frac{F_m}{A_r} = \frac{4}{3} \cdot \frac{(1406.08 \text{ N})}{3.28 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2}$$

$$\tau_m = 57.16 \text{ MPa}$$

$$\tau_a = \frac{4}{3} \cdot \frac{F_a}{A_r} = \frac{4}{3} \cdot \frac{104.64 \text{ N}}{3.28 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2}$$

$$\tau_a = 4.25 \text{ MPa}$$

Para obtener un factor de seguridad, se debe calcular el valor del límite de resistencia a la fatiga en cortante, el cual se determina de la siguiente manera:

$$Sse = k_a \cdot k_b \cdot k_c \cdot k_d \cdot k_e \cdot (0.5 \cdot Ssu)$$

Factor de superficie:

$$k_a = a(Ssu)^b \rightarrow \text{Laminado en frio o maquinado}$$

$$\rightarrow a = 4.51$$

$$\rightarrow b = -0.265$$

$$k_a = 4.51 \cdot (817.4)^{-0.265} = 0.76$$

Factor de modificación del tamaño:

$$k_b = 1.24 \cdot (8 \text{ mm})^{-0.107}$$

$$k_b = 0.94$$

Factor de modificación por la carga:

$$k_c = 0.577 \rightarrow \text{Factor para torsión / cortante}$$

Factor de temperatura:

$$k_d = 1 \rightarrow \text{No se consideran efectos de temperatura en los pernos}$$

Factor de confiabilidad:

$$k_e = 0.814 \rightarrow \text{confiabilidad de 95\%}$$

$$S_{se} = 0.76 \cdot 0.94 \cdot 0.577 \cdot 1 \cdot 0.814 \cdot (0.5 \cdot 817.4) = 137.13 \text{ MPa}$$

Una vez calculado el límite de resistencia a la fatiga en cortante, con el criterio de Goodman se determinó el factor de seguridad.

$$\eta = \frac{1}{\frac{\tau_a}{S_{se}} + \frac{\tau_m}{S_{su}}}$$

$$\eta = \frac{1}{\frac{4.25 \text{ MPa}}{137.13 \text{ MPa}} + \frac{57.16 \text{ MPa}}{817.4 \text{ MPa}}}$$

$$\eta = 9.91 \rightarrow \text{Factor de seguridad}$$

○ **Falla por aplastamiento de los agujeros en el acople**

En este cálculo, se analiza la posible falla del acople al mandril debido al esfuerzo por aplastamiento generado por los pernos sobre el apoyo. Para ello, se realizará un estudio de fatiga por tensión en los agujeros del acople.

Se obtuvo el esfuerzo amplitud y esfuerzo con las mismas fuerzas calculadas anteriormente.

$$\sigma_m = \frac{F_m}{t \cdot d} = \frac{1406.08 \text{ N}}{6.1 \cdot 10^{-3} \text{ m} \cdot 8 \cdot 10^{-3} \text{ m}}$$

$$\sigma_m = 28.81 \text{ MPa}$$

$$\sigma_a = \frac{F_a}{t \cdot d} = \frac{104.64 \text{ N}}{6.1 \cdot 10^{-3} \text{ m} \cdot 8 \cdot 10^{-3} \text{ m}}$$

$$\sigma_a = 2.14 \text{ MPa}$$

Ahora se calcula el límite de la resistencia a fatiga por tensión (Se):

$$Se = k_a \cdot k_b \cdot k_c \cdot k_d \cdot k_e \cdot (0.5 \cdot Su)$$

Factor de superficie:

$$k_a = a(Su)^b \rightarrow \text{Laminado en frio o maquinado}$$

$$\rightarrow a = 4.51$$

$$\rightarrow b = -0.265$$

$$k_a = 4.51 \cdot (440)^{-0.265} = 0.899$$

Factor de modificación del tamaño:

$$k_b = 1.24 \cdot (13 \text{ mm})^{-0.107}$$

$$k_b = 0.94$$

Factor de modificación por la carga:

$$k_c = 1 \rightarrow \text{Factor para tensión}$$

Factor de temperatura:

$$k_d = 1 \rightarrow \text{No se consideran efectos de temperatura en los pernos}$$

Factor de confiabilidad:

$$k_e = 0.814 \rightarrow \text{confiabilidad de 95\%}$$

$$Se = 0.899 \cdot 0.94 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0.814 \cdot (0.5 \cdot 440) = 151.33 \text{ MPa}$$

Una vez calculado el límite de resistencia a la fatiga, con el criterio de Goodman se determinó el factor de seguridad.

$$\eta = \frac{1}{\frac{\sigma_a}{Se} + \frac{\sigma_a}{Su}}$$

$$\eta = \frac{1}{\frac{2.14 \text{ MPa}}{151.33 \text{ MPa}} + \frac{28.81 \text{ MPa}}{440 \text{ MPa}}}$$

$$\eta = 12.55 \rightarrow \text{Factor de seguridad}$$

- **Cálculos de transferencia de calor**

- **Flujo de calor de gas GLP con antorcha**

Para determinar el caudal de gas GLP a través de los mecheros, se utilizó la potencia de la antorcha con el poder calorífico del gas GLP. Esto permite calcular el consumo de gas necesario para generar la energía térmica requerida.

$$\text{Potencia antorcha (P)} = 5 \text{ kW}$$

$$\text{Poder calorífico del gas GLP} = 46 \frac{\text{MJ}}{\text{kg}} = 12.8 \frac{\text{kWh}}{\text{kg}}$$

Con estos datos se calculó el consumo en forma de flujo masico.

$$\dot{m} = \frac{5 \text{ kW}}{12.8 \frac{\text{kWh}}{\text{kg}}}$$

$$\dot{m} = 0.39 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$$

Ahora se va a calcular la tasa de transferencia de calor para el gas GLP con el valor de flujo másico:

$$\dot{Q} = 46 \frac{\text{MJ}}{\text{kg}} \cdot 0.39 \frac{\text{kg}}{\text{h}} \cdot \frac{1 \text{ h}}{60 \text{ min}}$$

$$\dot{Q} = 0.2925 \frac{\text{MJ}}{\text{min}}$$

Se ha considerado una eficiencia del 20%, teniendo en cuenta que pueden ocurrir pérdidas de energía por conducción y convección. Este valor es provisional, ya que se podrá determinar con mayor precisión a través de experimentaciones posteriores.

$$\dot{Q} = 0.2925 \frac{MJ}{min} \cdot 0.2$$

$$\dot{Q} = 0.0585 \frac{MJ}{min} = 975 W$$

○ **Temperatura de precalentamiento en el diámetro exterior del cilindro**

El precalentamiento del cojinete simulado debe realizarse en el diámetro interno, ya que es donde se aplicará el Babbitt. De tal modo, para garantizar una buena adherencia y evitar la oxidación por temperaturas excesivas, la temperatura en esta zona debe alcanzar 150°C. Por tanto, dado que el calentamiento se realiza desde el diámetro externo, mediante el cálculo de resistencias térmicas se debe determinar la temperatura necesaria en el diámetro externo para que el diámetro interno alcance la temperatura de precalentamiento requerida.

Se presenta el siguiente diagrama para el cálculo de resistencias:

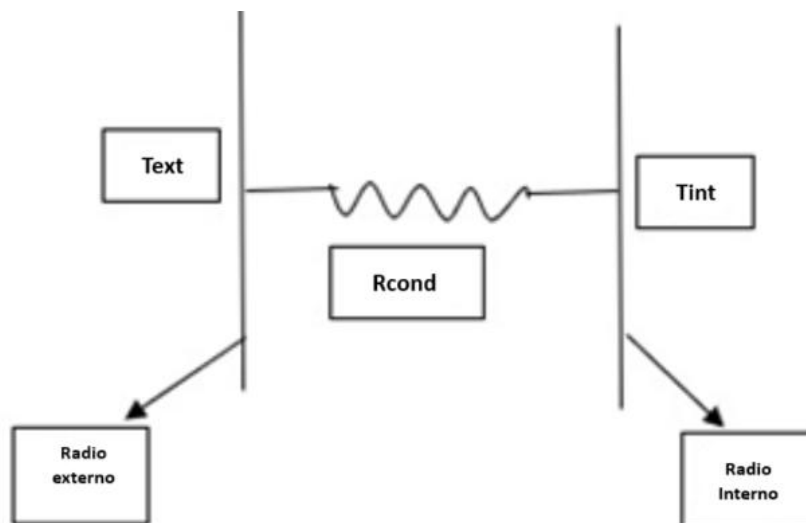


Figura #42. Diagrama de resistencias en el espesor del cilindro

Considerando los siguientes datos sobre el acero 1018 del tubo y la temperatura en el interior:

$$k = 53 \frac{W}{m \cdot ^\circ C}$$

$$T_{int} = 150 \text{ } ^\circ C$$

El flujo de calor es el siguiente:

$$\dot{Q} = \frac{T_{ext} - T_{int}}{\frac{\ln \frac{r_2}{r_1}}{2\pi kL}}$$

$$975W = \frac{T_{ext} - 150 \text{ } ^\circ C}{\frac{\ln \frac{0.172 \text{ m}}{0.152 \text{ m}}}{2\pi \cdot 53 \frac{W}{m \cdot ^\circ C} \cdot 0.1 \text{ m}}}$$

Despejando el valor de la temperatura exterior, se obtiene la temperatura en el exterior:

$$T_{ext} = 153.61 \text{ } ^\circ C$$

Esta es la temperatura a la que hay que calentar el simulado del cojinete para que en el interior haya 150 °C.

○ **Tiempo de Precalentamiento:**

En este cálculo, se busca determinar el tiempo durante el cual debe mantenerse la llama sobre el metal, para así evitar la oxidación del metal y asegurarse de que se alcance una temperatura correcta para el precalentamiento. Para este análisis, se consideró el acero como material base, el cual presenta una temperatura de oxidación de 150 °C. Las siguientes propiedades fueron tomadas en cuenta:

$$\text{Poder calorífico del gas GLP: } 46 \frac{MJ}{kg}$$

Para iniciar se obtuvo la masa del cojinete simulado al calcular su volumen y usando la densidad del material.

$$V = \frac{\pi}{4} \cdot (0.172^2 - 0.152^2) m^2 \cdot 0.1 m$$

$$V = 5.0893 \cdot 10^{-4} m^3$$

$$m = 7800 \frac{kg}{m^3} \cdot 5.0893 \cdot 10^{-4} m^3$$

$$m = 3.96 kg$$

Posteriormente se realizó un balance de la energía interna el cual, permite que se calcule el tiempo de precalentamiento al usar flujo de calor del gas GLP.

$$\Delta U = m \cdot C_p \cdot \Delta T = 3.96 kg \cdot 450 \frac{J}{kg \cdot ^\circ C} \cdot (153.61 - 20)^\circ C$$

$$Q = \Delta U = 238.09 KJ$$

$$t = \frac{Q}{\dot{Q}} = \frac{238.09 kJ}{58.5 \frac{kJ}{min}}$$

$$t = 4.06 min$$

○ **Corrección de cálculos con mediciones reales**

Una vez realizadas las pruebas físicas de precalentamiento y fundición, fue posible registrar los tiempos reales de cada proceso. Con estos valores se procedió a calcular la efectividad de la antorcha y del sistema de gas, aplicando las mismas fórmulas utilizadas previamente, pero esta vez en sentido inverso, es decir, partiendo del tiempo medido para

determinar la potencia suministrada en condiciones reales de operación. Los cálculos para la tasa de transferencia de calor para el gas GLP nos sirven para obtener la efectividad.

A la hora del precalentamiento se midió un tiempo de 2 minutos con 41 segundos, por ende, obtenemos la siguiente variable

$$t = 2.69 \text{ min}$$

Con este valor, se puede calcular la tasa de transferencia de calor necesaria para calentar el cojinete en ese tiempo

$$t = \frac{Q}{\dot{Q}} = 2.69 \text{ min}$$

$$\dot{Q} = \frac{Q}{t} = \frac{238.09 \text{ kJ}}{2.69 \text{ min}}$$

$$\dot{Q} = 88.05 \frac{\text{kJ}}{\text{min}}$$

Utilizando el valor previamente calculado para la Q de la tasa de transferencia de calor para el gas GLP obtenemos la nueva eficiencia e .

$$0.08805 \frac{\text{MJ}}{\text{min}} = \dot{Q} * e$$

$$e = \frac{0.08805 \frac{\text{MJ}}{\text{min}}}{0.295 \frac{\text{MJ}}{\text{min}}}$$

$$e = 0.3$$

Por ende, la eficiencia 30% de la antorcha y de todo el sistema.

2. Simulaciones

Con el objetivo de poder evaluar las zonas más complejas presentes en la máquina, se realizaron simulaciones en los puntos más críticos, así como las geometrías más complejas utilizando ANSYS Mechanic, ANSYS Fluent e Inventor Autodesk. Estas simulaciones permitieron analizar distribuciones de esfuerzo y deformación, así como factores de seguridad y el comportamiento térmico del material fundido.

- **Simulación de esfuerzos sobre el bastidor**

Esta simulación está orientada a evaluar los esfuerzos y deformaciones a los que es sometido el ensamble del bastidor. Esto considerando que el bastidor soporta todo el peso del resto de ensambles. Por lo que, es crítico evaluar su estructura. Para la simulación se consideró el peso ejercido sobre la estructura por parte del motor, el variador de velocidades, el colador, la cubierta de seguridad y el sistema de sujeción.

Nodes:1957517
Elements:1058547

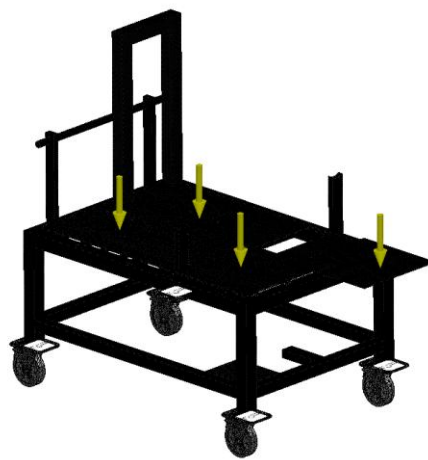


Figura #43. Condiciones de borde y mallado sobre el bastidor

Para la simulación se consideró que las chapas metálicas y la estructura de la mesa están hechas de acero A-36. A continuación se presentan las propiedades de este material según la ficha técnica de EuroPer (s.f.) que sigue las normas de la ASTM.

Tabla #24. Propiedades del acero A-36

Propiedades	Acero A-36
Módulo de Young	200 <i>GPa</i>
Esfuerzo de fluencia	250 <i>MPa</i>
Resistencia a la tracción	400 <i>MPa</i>
Densidad	7850 <i>kg/m³</i>

De tal manera, al simular el modelo se obtuvieron los siguientes resultados considerando cuatro cargas puntuales de 33,69 N para el colador, de 122,67 N para el motor, de 680.81 N para el variador y el sistema de sujeción y de 79,49 para la cubierta

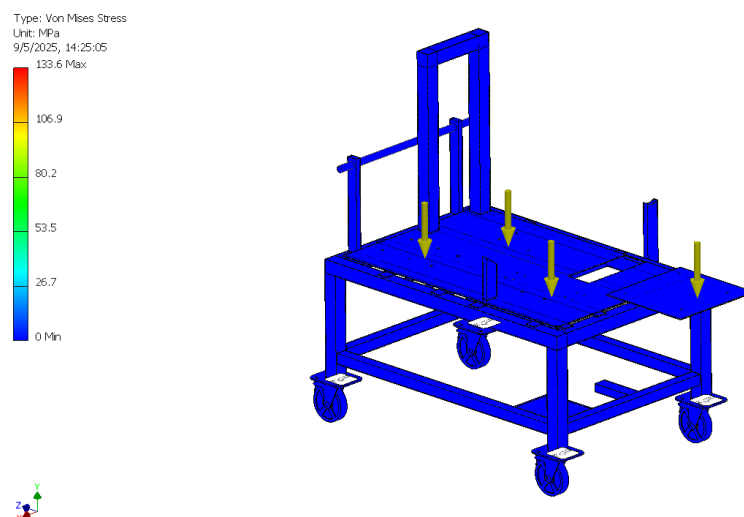


Figura #44. Esfuerzos de Von Mises sobre el bastidor

Los resultados de esfuerzos de Von Mises demuestran que el esfuerzo aplicado es menor al esfuerzo de fluencia del acero A-36. Es decir, la estructura estaría sometida a deformaciones elásticas por lo que no ocurriría daño permanente sobre esta.

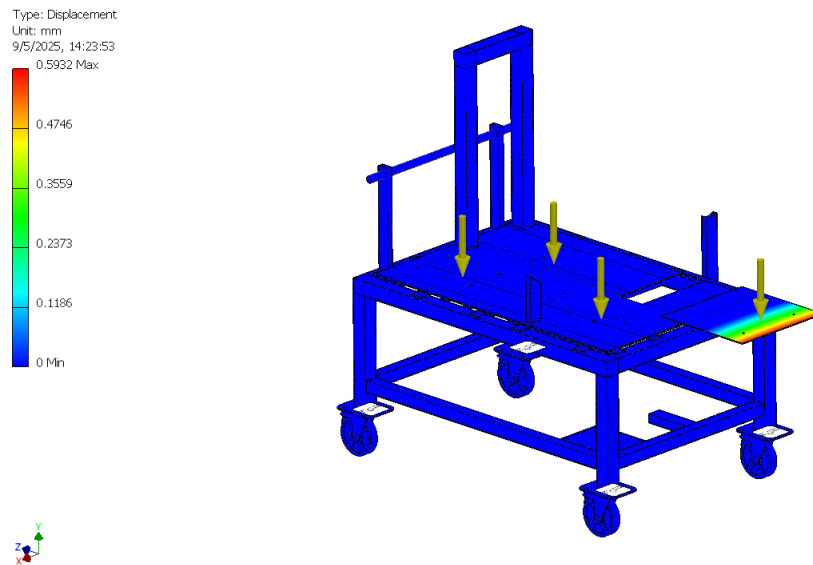


Figura #45. Deformación del bastidor

En lo que respecta a la deformación, la máxima según la simulación es de 0.5932 mm . Esta deformación ocurre en la chapa del colador por lo que no es del todo relevante. En la zona donde se encuentra apoyado el motor y el variador de velocidades no se demuestra que ocurra deformaciones que puedan comprometer a la funcionalidad de la máquina ni a la alineación de ejes. No obstante, considerando que se trabajará a altas revoluciones, resulta importante cerciorarse que se está transmitiendo correctamente el movimiento entre subensambles. Esto debido a que, si existe resonancia o problemas de acoplamiento, se corre el riesgo de que una deformación mínima pueda amplificarse y afectar a la máquina.

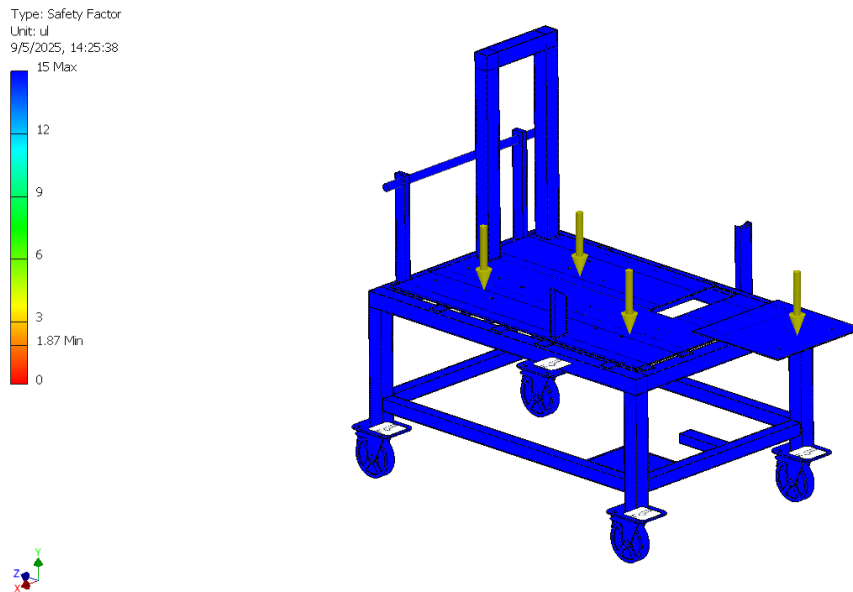


Figura #46. Factor de seguridad del bastidor

En todo caso, es posible afirmar que la estructura evaluada no fallaría ni afectaría significante a la máquina de fundición centrífuga ya que ni la deformación ni los esfuerzos generados son críticos. Esto se ve reflejado por el factor de seguridad de 1.87 que muestra que no hay necesidad de refuerzos adicionales y que la máquina tiene cierto margen para lidiar con condiciones inesperadas que se puedan presentar durante su operación.

- **Simulación de esfuerzos cortante sobre los pernos del mandril**

La siguiente simulación realizada evalúa un punto crítico que ya fue analizado previamente de manera analítica. Este punto son los pernos que acoplan el mandril al variador de velocidades y transmiten el torque del motor. De tal modo, la siguiente simulación tiene la finalidad de comparar los resultados obtenidos analíticamente con los simulados para verificar que ambos métodos sean coherentes y que no haya riesgo de falla.

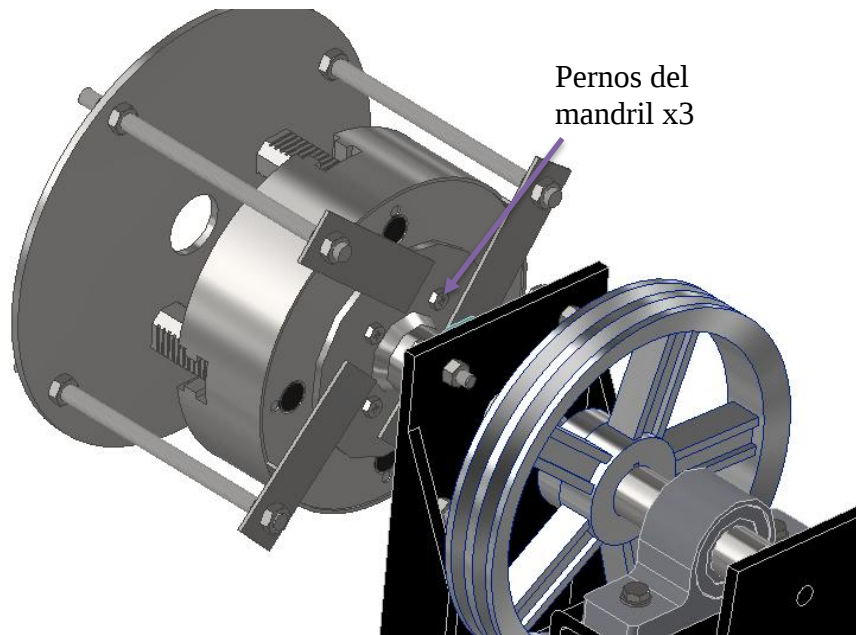
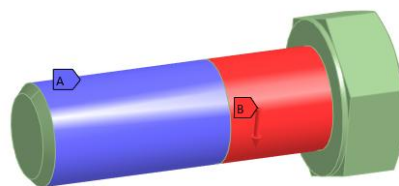


Figura #47. Ubicación de los pernos dentro de la máquina

Para las condiciones de borde, se consideró la fuerza calculada analíticamente de 4532.1 N , pero se la distribuyó equitativamente para cada uno de los 3 pernos usados. De esta manera, cada perno está sometido a una fuerza de 1510.7 N . Esta fuerza genera esfuerzos cortantes sobre el perno debido a que estos elementos son los encargados de transmitir el torque generado del eje hacia el mandril.

A: Pernos
Static Structural
Time: 1, s
A Fixed Support
B Force 2: 1510,7 N

Ansys
2025 R1
STUDENT



0 0,0075 0,015 0,022 0,03 (m)



Figura #48. Condiciones de borde sobre el perno

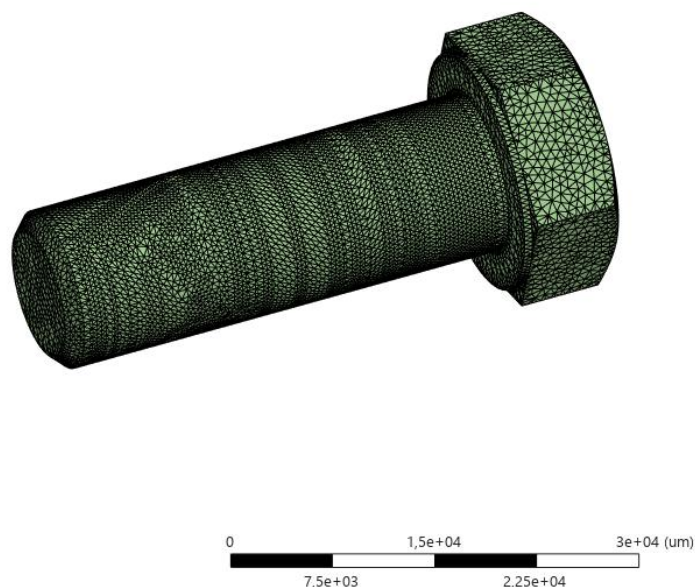


Figura #49. Mallado sobre el perno

En lo que respecta a las propiedades, a partir de la norma ISO 898-1, se utilizó las propiedades de los pernos de clase 12.9, los cuales tienen una alta resistencia necesaria para las condiciones en las cuales trabajará la máquina.

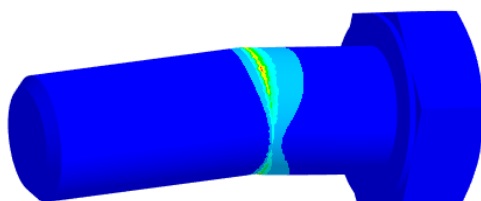
Tabla #25. Propiedades de los pernos clase de propiedad 12.9

Propiedades	Clase de propiedad 12.9
Módulo de Young	210 <i>GPa</i>
Esfuerzo de fluencia	1080 <i>MPa</i>
Resistencia máxima a la tracción	1200 <i>MPa</i>
Densidad	7850 <i>kg/m³</i>

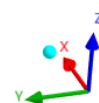
Por consiguiente, la simulación generó los siguientes resultados:

A: Pernos
Equivalent Stress
Type: Equivalent (von-Mises) Stress
Unit: MPa
Time: 1 s

225,36 Max
200,32
175,28
150,24
125,2
100,16
75,119
50,079
25,04
4,6214e-5 Min



0,000 15,000 30,000 (mm)
7,500 22,500

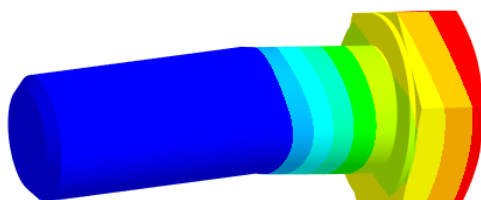


Ansys
2025 R1
STUDENT

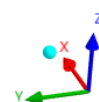
Figura #50. Esfuerzo de Von Mises sobre el perno

A: Pernos
Total Deformation
Type: Total Deformation
Unit: mm
Time: 1000 ms

0,00538 Max
0,00478
0,00418
0,00359
0,00299
0,00239
0,00179
0,0012
0,000598
0 Min



0,000 15,000 30,000 (mm)
7,500 22,500

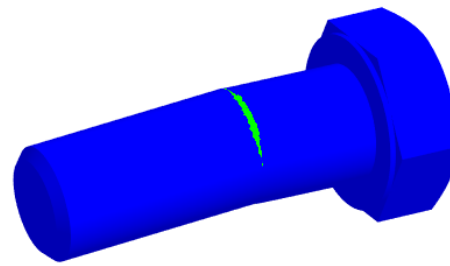


Ansys
2025 R1
STUDENT

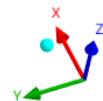
Figura #51. Deformación total sobre el perno

A: Pernos
Safety Factor
Type: Safety Factor
Time: 1000

15 Max
10
4,7924 Min
1
0



0,00 10,00 20,00 30,00 40,00 (mm)



Ansys
2025 R1
STUDENT

Figura #52. Factor de seguridad estático del perno

Los resultados muestran que bajo una carga máxima de 1510.7 N , cada perno siente un esfuerzo de Von Mises máximo de 225.36 MPa y una deformación total máxima de $5.38\text{ }\mu\text{m}$. Estos resultados implican que los pernos estáticamente no tienen riesgo de fallar y se encuentran dentro del rango elástico del material. Esto es sustentado por el factor de seguridad de 4.79 que refleja que el perno estaría seguro bajo las condiciones de trabajo generadas.

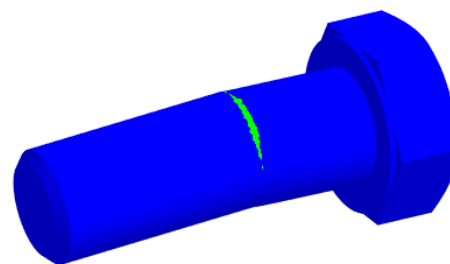
Con respecto a la fatiga, se usó el criterio de Goodman y esfuerzos cíclicos no alternantes con una fuerza amplitud de 104.64 N y una fuerza media de 1406.08 N . Para definir las cargas cíclicas en ANSYS se usó una relación de 0,8617 la cual permitió replicar las condiciones cíclicas a la cuales los pernos son sometidos y se usó la teoría de Goodman. A su vez, para argüir el comportamiento de este perno en fatiga se usaron los datos proporcionados por la investigación de Li, Nassar & El-Zein (2020), en el cual determina una curva S-N para pernos de grado 12.9.

Tabla #26. Valores tabulados para la curva S-N del perno grado 12.9

N (ciclos)	Esfuerzo alternante (MPa)
1000	1233
10000	1028
100000	822
1000000	617
5000000	480

A: Pernos
Safety Factor
Type: Safety Factor

15 Max
10
4,8245 Min
1
0



0,00 10,00 20,00 30,00 40,00 (mm)

Ansys
2025 R1
STUDENT

Figura #53. Factor de seguridad dinámico del perno

Como se puede observar en la gráfica, bajo cargas cíclicas el perno estaría seguro al contar con un factor de seguridad de 4.50. Este resultado difiere del previamente calculado analíticamente, debido a que las simulaciones tienden a captar comportamientos difíciles de considerar al realizar cálculos manuales. En todo caso, los cálculos hechos previamente ayudaron a discernir con mayor facilidad el comportamiento físico de los pernos lo cual ayudó a plantear esta simulación. Además, juntando los resultados obtenidos es posible asegurarse que este elemento no fallará al momento de realizar la máquina de fundición centrífuga. Una

particularidad es que el factor de seguridad en fatiga es mínimamente mayor al cortante lo cual, se puede deber a que en la evaluación dinámica la variación es pequeña mientras que en la evaluación estática el esfuerzo está más cerca del límite de fluencia.

- **Simulación de esfuerzos cortantes sobre la chaveta de la polea motriz y la chaveta de la polea conducida.**

Las simulaciones que se presenta a continuación evalúan las chavetas empleadas las cuales son críticas dentro de la estructura mecánica utilizada. Este elemento se encarga de transmitir el torque del eje a la polea, de tal modo es un componente fundamental dentro de la máquina ya que, si falla, se deja de transmitir correctamente el torque del motor al variador de velocidades y en consecuencia, el sistema de rotación del mandril dejará de funcionar.

Para estos elementos se utilizó acero AISI 1018, a continuación, se presenta sus propiedades a partir de la ficha técnica de este material publicada por Serviaceros, (s.f.).

Tabla #27. Propiedades del acero AISI 1018

Propiedades	Acero AISI 1018
Módulo de Young	200 <i>GPa</i>
Esfuerzo de fluencia	370 <i>MPa</i>
Resistencia máxima a la tracción	440 <i>MPa</i>
Densidad	7850 <i>kg/m³</i>

Para el análisis en fatiga se definió una curva S-N estimada del acero AISI 1018 a partir de los resultados publicados por Polanco & Peña (2016) y se empleó el criterio de Goodman para la evaluación.

Tabla #28. Valores tabulados para la curva S-N del acero AISI 1018

N (ciclos)	Esfuerzo alternante (MPa)
10000000	255.16
116809	291.62
500556	291.61
154626	364.52
12505	437.42
3371	510.33
2092	583.23

A continuación, se presentan los resultados obtenidos para ambas chavetas. Para mayor claridad en lo sucesivo se las denominará chaveta motriz y chaveta conducida.

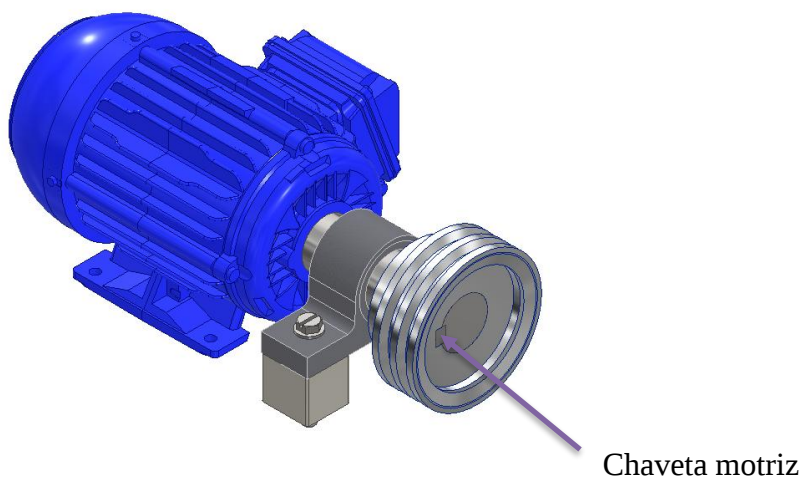


Figura #54. Ubicación de la chaveta motriz

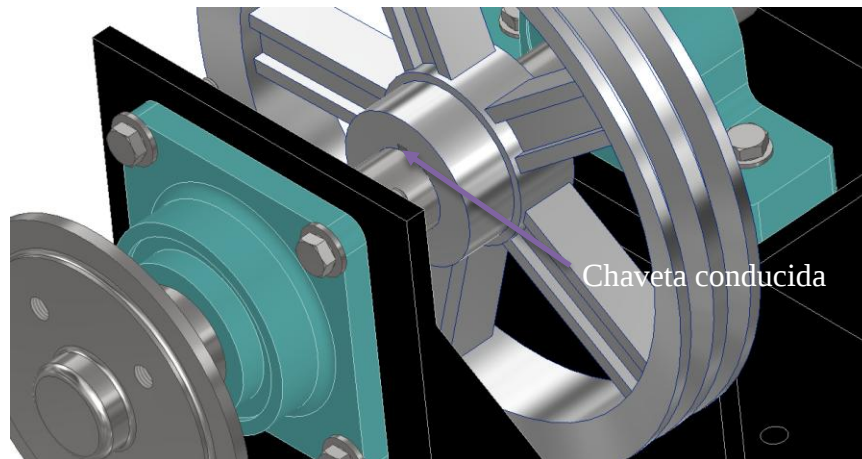
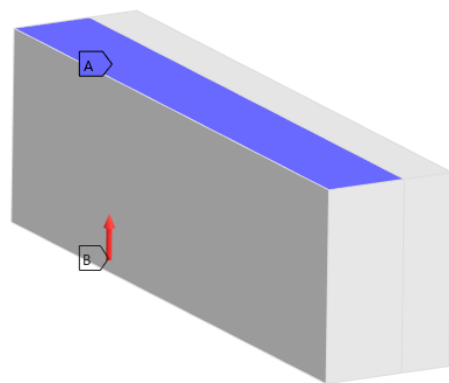


Figura #55. Ubicación de la chaveta de la polea conducida

Para definir las condiciones de borde, de ambas chavetas, se consideró que el elemento está sometido a esfuerzos cortantes y de aplastamiento. Esto porque la función de este elemento es transmitir el torque lo cual se logra al hacer que el eje empuje la chaveta contra la polea haciendo que la chaveta resista el deslizamiento relativo entre la superficie de ambos elementos.

B: Chaveta polea motriz
Static Structural
Time: 1, s

A Fixed Support
B Force: 2403,3 N



0,000 7,500 15,000 22,500 30,000 (mm)

Ansys
2025 R1
STUDENT

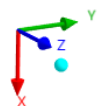


Figura #56. Condiciones de borde sobre la chaveta motriz

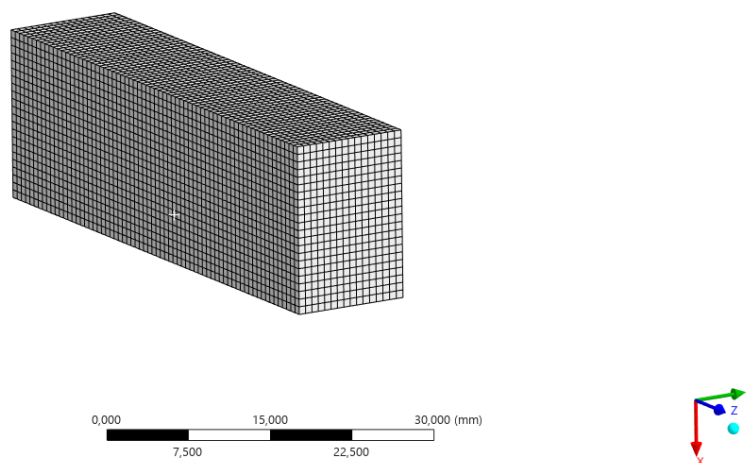


Figura #57. Mallado sobre la chaveta motriz

D: Chaveta polea conducida
Static Structural
Time: 1, s

A Fixed Support
B Force: 7190,9 N

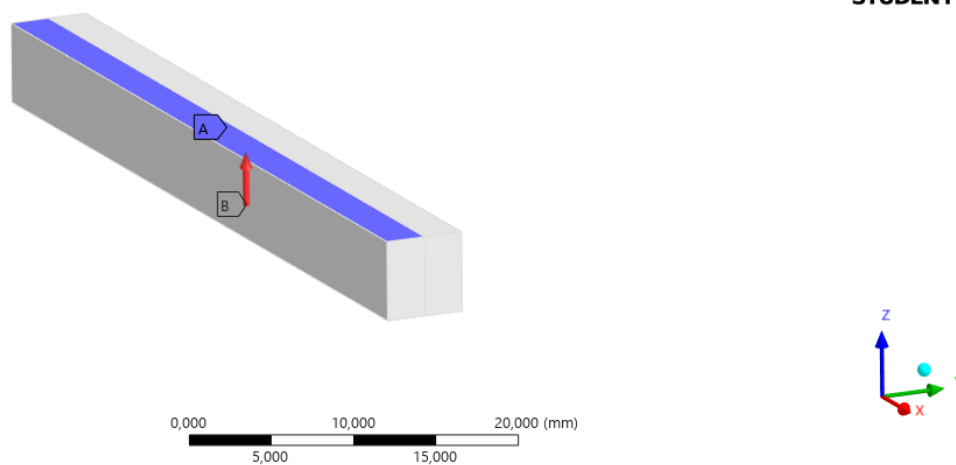


Figura #58. Condiciones de borde sobre la chaveta conducida

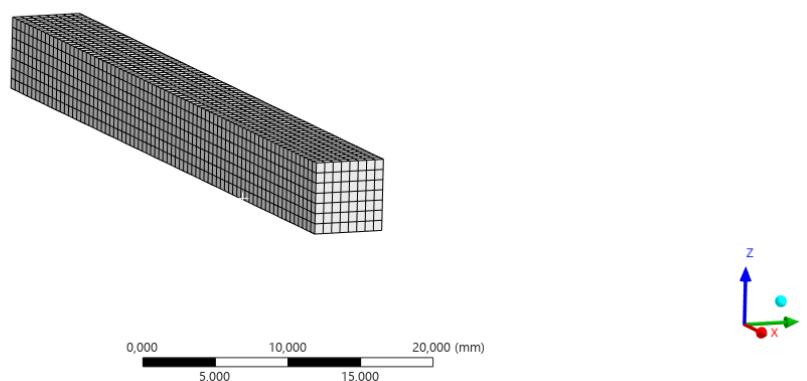


Figura #59. Mallado sobre la chaveta conducida

De tal manera, al simular el modelo planteado se obtuvieron los siguientes resultados de esfuerzo y deformación para ambas chavetas.

B: Chaveta polea motriz
 Equivalent Stress
 Type: Equivalent (von-Mises) Stress
 Unit: MPa
 Time: 1 s

39,801 Max
 35,383
 30,965
 26,546
 22,128
 17,71
 13,291
 8,8728
 4,4544
 0,036033 Min

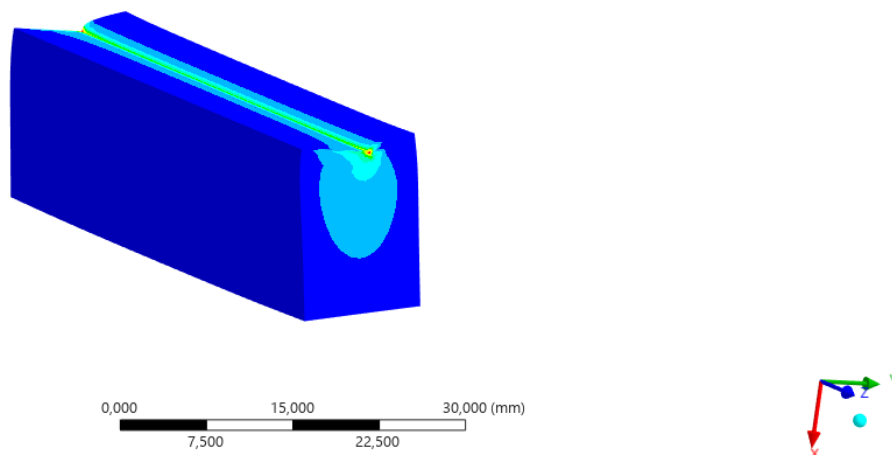
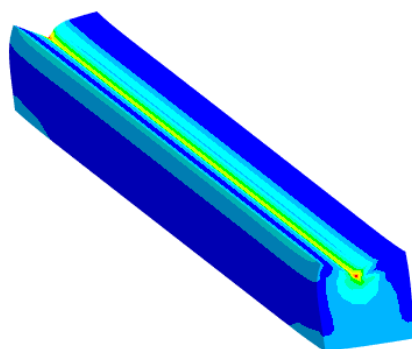


Figura #60. Esfuerzos de Von Mises sobre la chaveta motriz

D: Chaveta polea conducida
 Equivalent Stress
 Type: Equivalent (von-Mises) Stress
 Unit: MPa
 Time: 1 s

215,08 Max
 191,25
 167,43
 143,6
 119,78
 95,952
 72,127
 48,302
 24,477
 0,65132 Min



0,000 10,000 20,000 (mm)
 5,000 15,000

Ansys
 2025 R1
 STUDENT

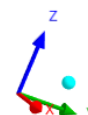
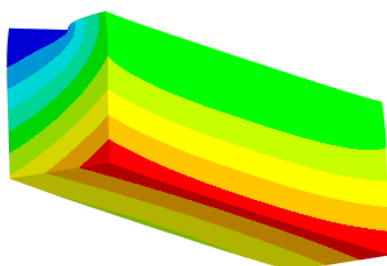


Figura #61. Esfuerzos de Von Mises sobre la chaveta conducida

B: Chaveta polea motriz
 Total Deformation
 Type: Total Deformation
 Unit: mm
 Time: 1 s

0,00103 Max
 0,000918
 0,000803
 0,000689
 0,000574
 0,000459
 0,000344
 0,00023
 0,000115
 0 Min



0,00 20,00 40,00 (mm)
 10,00 30,00

Ansys
 2025 R1
 STUDENT

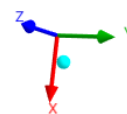
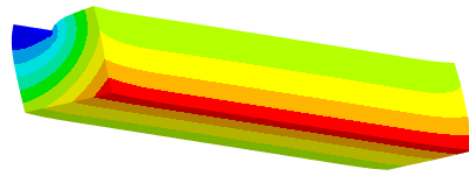


Figura #62. Deformación total sobre la chaveta motriz

D: Chaveta polea conducida
 Total Deformation
 Type: Total Deformation
 Unit: mm
 Time: 1 s

Ansys
 2025 R1
 STUDENT

0,0041 Max
 0,00364
 0,00319
 0,00273
 0,00228
 0,00182
 0,00137
 0,00091
 0,000455
 0 Min



0,000 5,000 10,000 15,000 20,000 (mm)

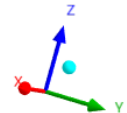


Figura #63. Deformación total sobre la chaveta conducida

Los valores obtenidos demuestran que el chaveta motriz sentirá un esfuerzo máximo de Von Mises de 39.80 MPa y la chaveta conducida de 215.08 MPa , lo cual considerando el esfuerzo de fluencia de 370 MPa , implica que estos elementos trabajarán en el rango elástico. Además, su deformación será mínima ya que en el caso de la chaveta motriz solo llegará a $3.09 \mu\text{m}$ y en el de la chaveta conducida a $1.37 \mu\text{m}$. De tal forma, consideraron estas condiciones y sabiendo que el factor de seguridad se encuentra a través de la siguiente fórmula:

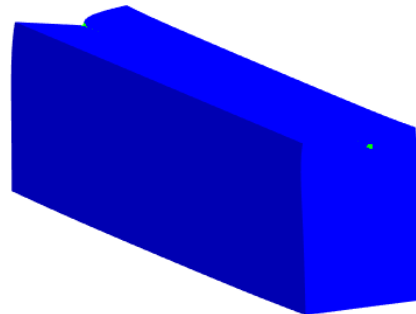
$$FS = \frac{\sigma_{fluencia}}{\sigma_{V.M}}$$

La chaveta motriz trabajaría con un factor de seguridad de 9.27 y la chaveta conducida de 1.72. Estos resultados muestran que, bajo carga máxima, no hay riesgo de que ocurra falla.

Para la simulación en fatiga de ambas chavetas, se obtuvieron los siguientes resultados:

B: Chaveta polea motriz
Safety Factor
Type: Safety Factor

15 Max
6,4108 Min
1
0



0,000 15,000 30,000 (mm)
7,500 22,500

Ansys
2025 R1
STUDENT

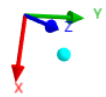
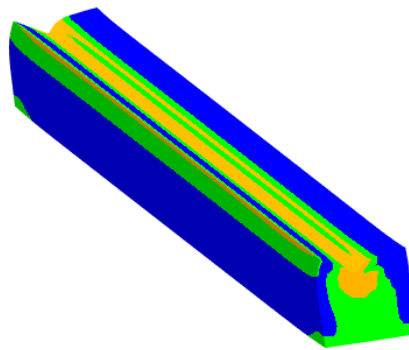


Figura #64. Factor de seguridad dinámico de la chaveta motriz

D: Chaveta polea conducida
Safety Factor
Type: Safety Factor

15 Max
10
5
1,1864 Min
0



0,000 10,000 20,000 (mm)
5,000 15,000

Ansys
2025 R1
STUDENT

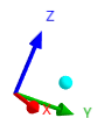


Figura #65. Factor de seguridad dinámico de la chaveta conducida

Los resultados muestran un factor de seguridad de 6.41 para la chaveta motriz y un factor de seguridad de 1.18 para la chaveta conducida. Esto implica que las chavetas podrán trabajar bajo fatiga sin sufrir fallas. Sin embargo, resalta el resultado de la chaveta conducida que cuenta con un diseño aceptable de forma holgada, pero considerando el margen reducido con el que se trabaja, en un futuro sería adecuado buscar incrementar el ancho de la chaveta. Es importante

mentonar que es una evaluación con el Criterio de Goodman el cual tiende a ser más conservador. De todas formas, el diseño actual permitiría a la máquina cumplir las expectativas de este proyecto.

- **Simulación de deformación sobre el eje del variador de velocidades**

La simulación subsecuente, evalúa el eje que conecta la polea de mayor diámetro con el acople al mandril. Esto debido a que, al soportar la carga del ensamble del sistema de sujeción, existe el riesgo de que el eje se deforme lo cual afectaría el funcionamiento de la máquina e influiría en los recubrimientos realizados.

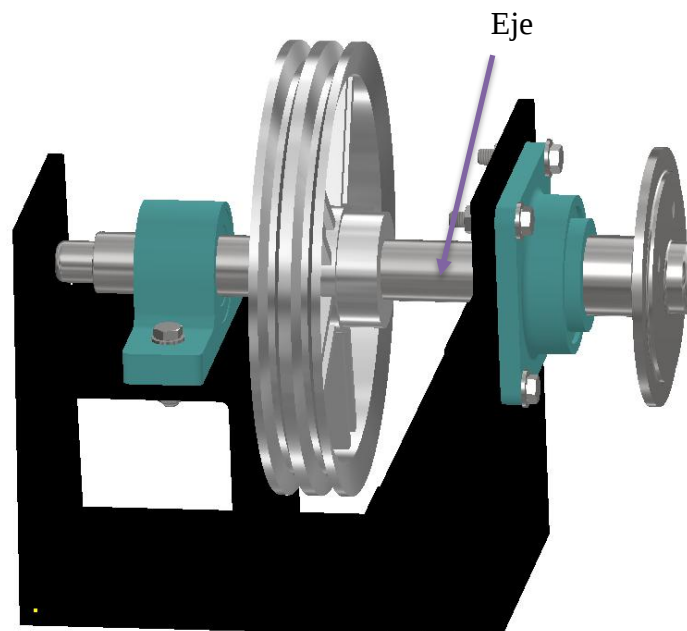
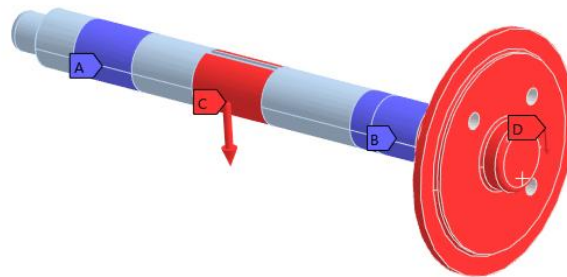


Figura #66. Ubicación del eje dentro de la máquina

Para las condiciones de borde se considero a las chumaceras como soportes fijos y se aplicó la fuerza de 23.94 N que ejerce la polea sobre el eje y la fuerza que ejerce el ensamble del sistema de sujeción sumado el peso de la barra perforada de 8 in lo cual da 420.36 N aproximadamente.

C: Eje
 Static Structural
 Time: 1, s

A Fixed Support
 B Fixed Support 2
 C Force: 23,94 N
 D Force 2: 420,36 N



0,00 100,00 200,00 (mm)
 50,00 150,00

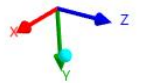
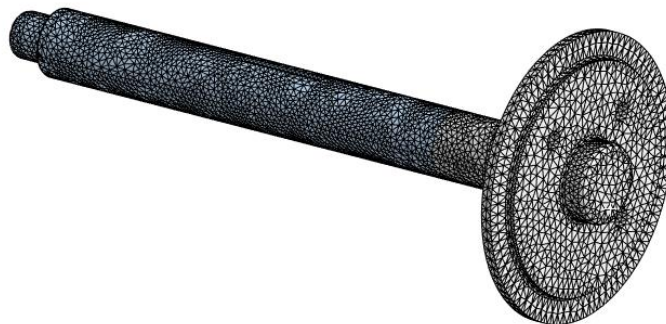


Figura #67. Condiciones de borde sobre el eje



0,00 100,00 200,00 (mm)
 50,00 150,00

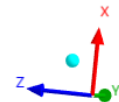
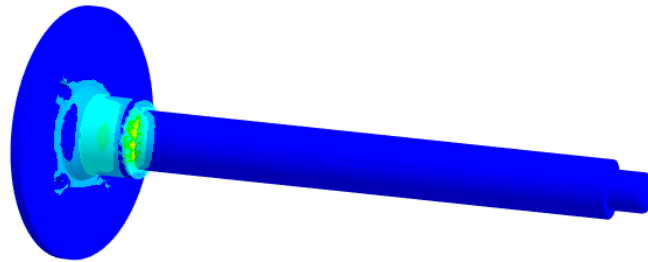


Figura #68. Mallado sobre el eje

En lo que respecta al material, se consideró las propiedades del acero AISI 1018 y la curva S-N previamente definida.

C: Eje
Equivalent Stress
Type: Equivalent (von-Mises) Stress
Unit: MPa
Time: 1 s

2,2503 Max
2,0003
1,7503
1,5002
1,2502
1,0001
0,75011
0,50007
0,25004
9,6849e-10 Min



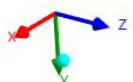
0,00 100,00 200,00 (mm)
50,00 150,00

Ansys
2025 R1
STUDENT

Figura #69. Esfuerzos de Von Mises sobre el eje

C: Eje
Total Deformation
Type: Total Deformation
Unit: mm
Time: 1 s

0,000969 Max
0,000862
0,000754
0,000646
0,000539
0,000431
0,000323
0,000215
0,000108
0 Min



0,00 100,00 200,00 (mm)
50,00 150,00

Ansys
2025 R1
STUDENT

Figura #70. Deformación total sobre el eje

Por un lado, según los resultados el eje solo estaría sometido a 2.52 MPa por lo que no hay ningún riesgo de entrar a la zona plástica ni de falla. Por otro lado, la deformación se ve fuertemente contrarrestada por el uso de chumacera ya que, según los resultados esta es menor a $1 \mu m$. En definitiva, no hay riesgos asociados a este eje durante las revoluciones generadas al operar la máquina.

- **Simulación del comportamiento térmico y dinámico del material fundido colado**

A continuación, se desarrolló una simulación del sistema de colador utilizando el software ANSYS Fluent. La simulación que se presentará a continuación tiene como objetivo analizar el comportamiento térmico y dinámico del metal fundido dentro del tubo del colador construido en acero inoxidable AISI 430. La geometría del sistema simulado consiste en un tubo cilíndrico que conduce el Babbitt desde el crisol hacia el molde rotatorio, mediante un vertido por gravedad.

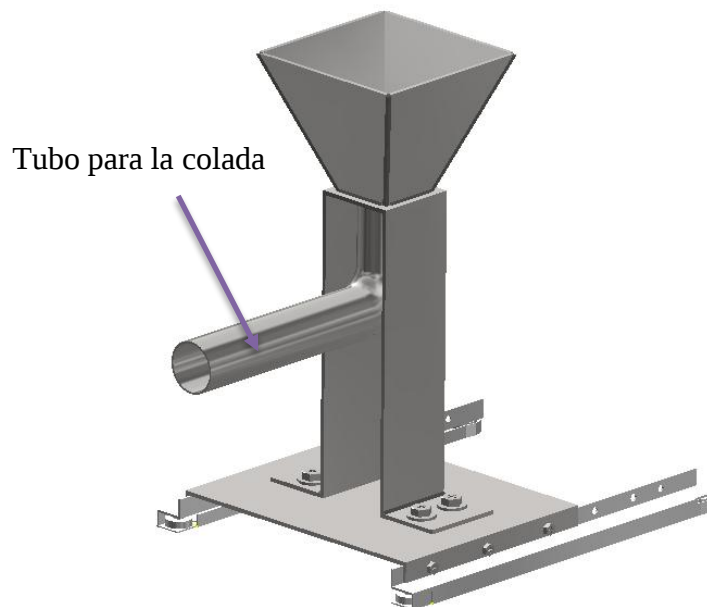


Figura #71. Ubicación del tubo de colada dentro de la máquina

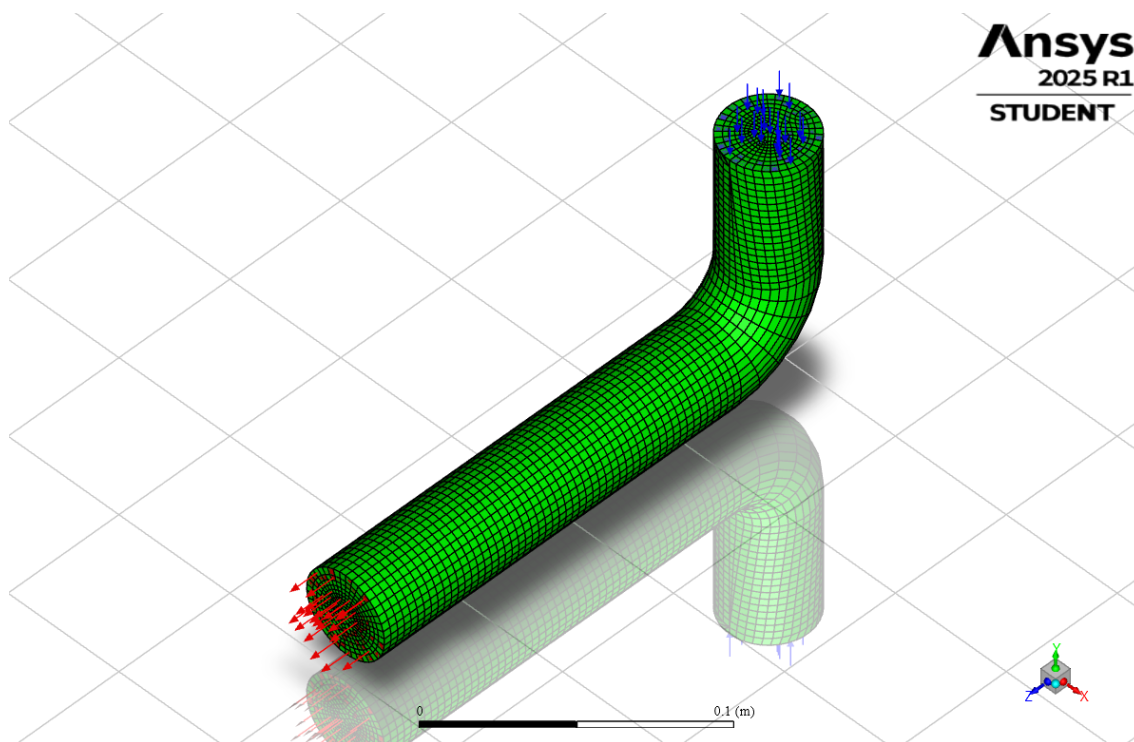


Figura #72. Mallado del tubo analizado en Ansys Fluent

Cabe recalcar que para realizar esta simulación se utilizaron propiedades del Babbitt de grado 1, conforme a la norma ASTM B23-20. La justificación del uso de esta aleación se detalla en una sección posterior, donde se describe el procedimiento experimental mediante el cual se identificó el tipo de Babbitt empleado. Según Kapp Alloy & Wire Inc. (2024) y Dong, Yin, Li, Gao, & Mao (2020), las propiedades del metal Babbitt que se utilizó son las siguientes:

Tabla #29. Propiedades aproximadas de Babbitt para simulación en ANSYS

Propiedad	Babbitt
Densidad	7340 kg/m^3
Conductividad Térmica	$30 \text{ W/m} \cdot \text{K}$
Viscosidad	$0.0025 \text{ kg/m} \cdot \text{s}$

El objetivo de esta simulación es analizar el comportamiento térmico y fluido del Babbitt fundido al ingresar al tubo por gravedad. Se evaluaron tres velocidades de entrada:

0.3 m/s, 0.5 m/s y 0.7 m/s (Dong, Yin, Li, Gao, & Mao, 2020), todas con una temperatura de vertido inicial del fluido de 440 °C, mientras que las paredes del tubo permanecen a temperatura ambiente 18 °C. Se activaron los modelos de energía y de turbulencia SST k-omega para analizar la transferencia de calor y el comportamiento del flujo. No se consideraron efectos de solidificación, ya que el análisis se centró únicamente en la fase líquida del Babbitt. Cada simulación se ejecutó con 50 iteraciones y un mallado medio. Esta configuración permitió observar la variación de temperatura, presión y velocidad a lo largo del tubo, y comparar el efecto de las distintas velocidades de vertido sobre el desempeño térmico del sistema.

○ **Resultados presión interna:**

A continuación, se presentarán los resultados obtenidos de presión total en las tres distintas velocidades.

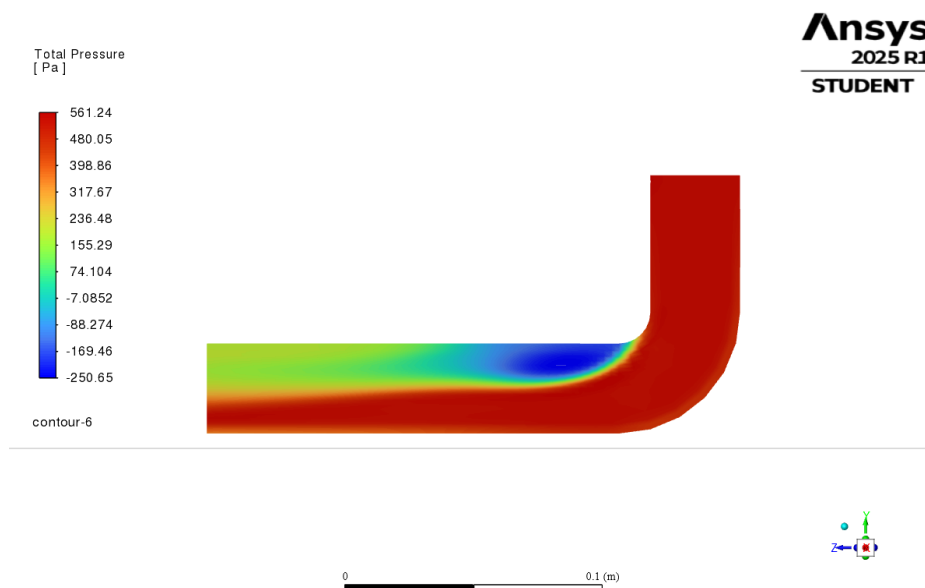


Figura #73. Resultado de Presión interna a 0.3 m/s

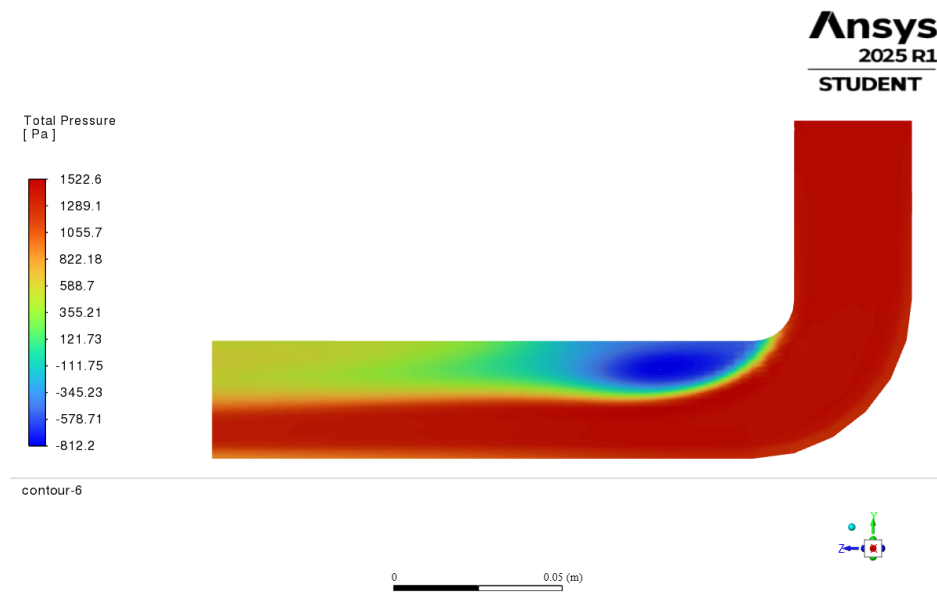


Figura #74. Resultado de Presión interna a 0.5 m/s

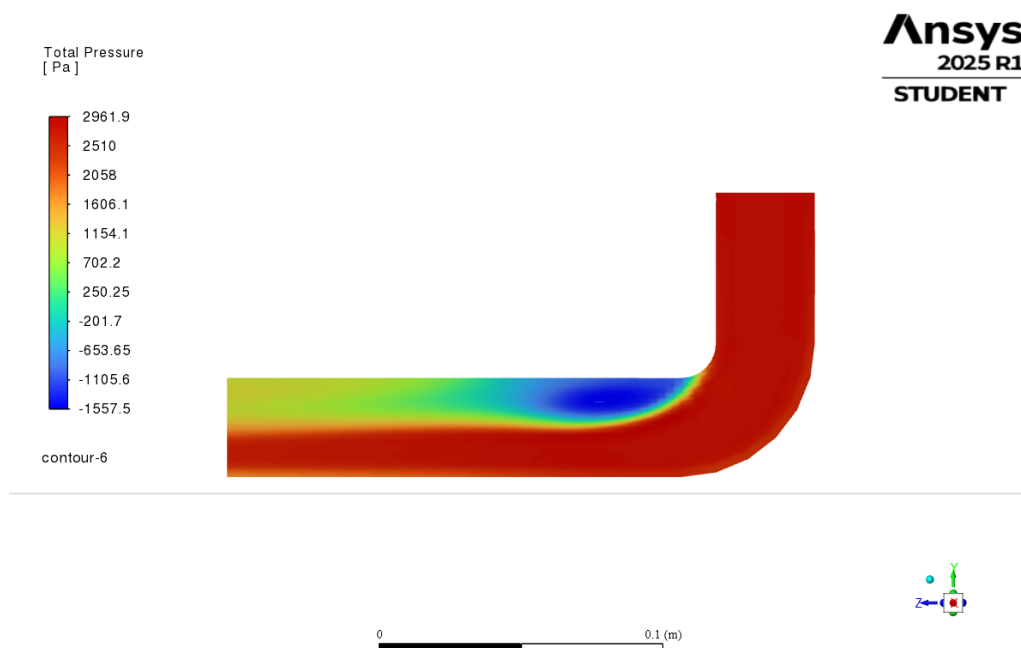


Figura #75. Resultado de Presión interna a 0.7 m/s

En los resultados de la presión interna, se evidencia una clara relación entre el incremento de la velocidad de vertido y el aumento de los gradientes de presión dentro del sistema. A una velocidad de entrada de 0.3 m/s , la presión máxima fue de 561.2 Pa y la mínima de -250.6 Pa , indicando un comportamiento suave y controlado del flujo. Al aumentar a 0.5 m/s , la presión máxima ascendió a 1522.6 Pa , con una mínima de -812.2 Pa ,

mostrando una caída de presión más pronunciada en el codo del tubo, producto del cambio de dirección y la aceleración del flujo. Finalmente, en la condición de 0.7 m/s , los valores de presión se intensificaron considerablemente, alcanzando un máximo de 2961.9 Pa y un mínimo de -1557.5 Pa , lo cual revela mayores exigencias estructurales sobre el sistema. Estos resultados indican que, si bien el aumento de velocidad mejora la eficiencia térmica, también incrementa significativamente las tensiones internas que el diseño del colador debe soportar.

○ **Resultados velocidad interna:**

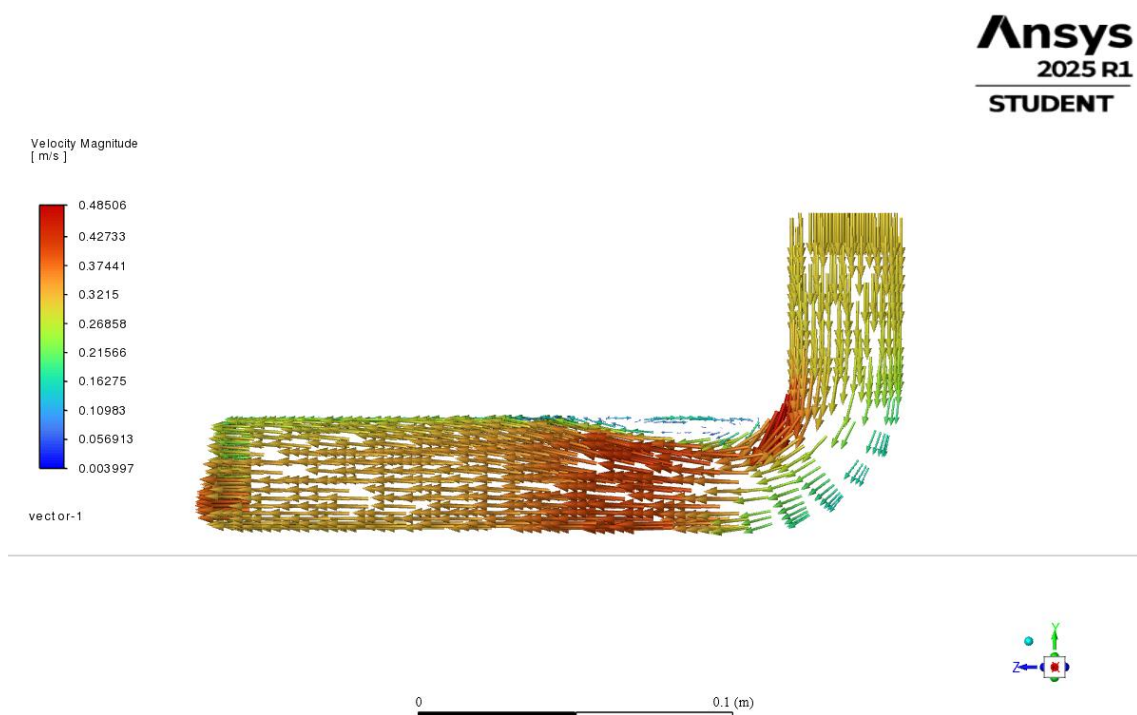


Figura #76. Resultado de Velocidad interna a 0.3 m/s

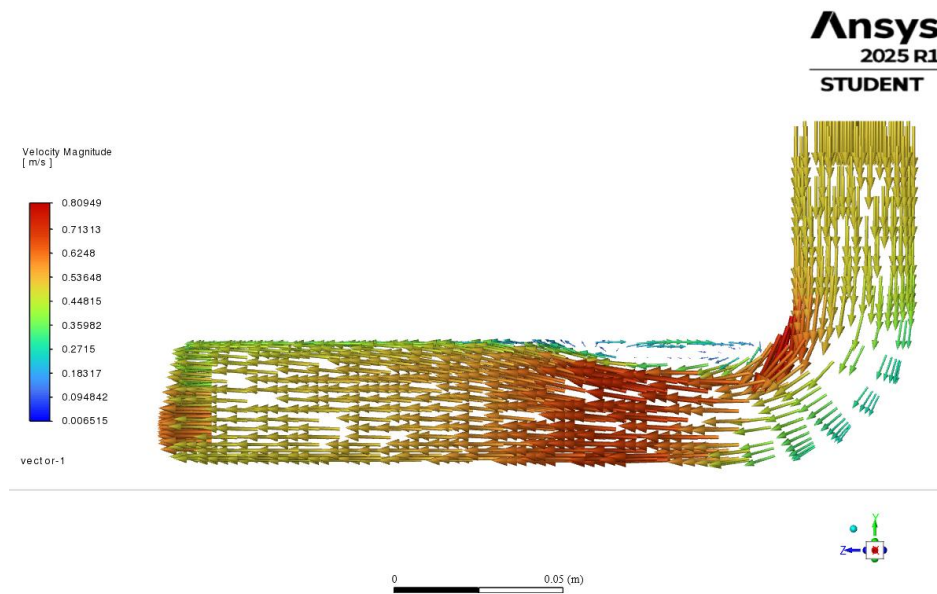


Figura #77. Resultado de Velocidad interna a 0.5 m/s

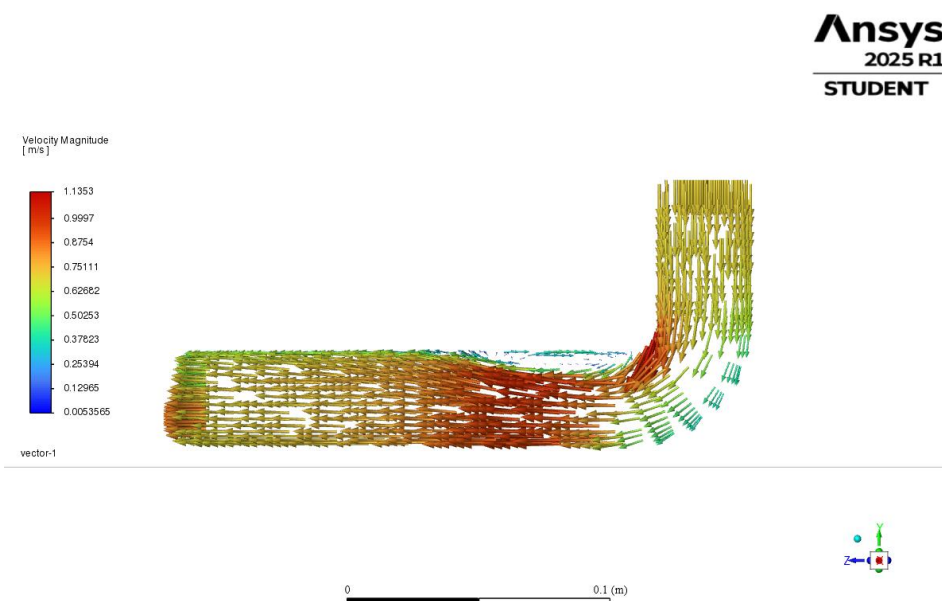


Figura #78. Resultado de Velocidad interna a 0.7 m/s

El análisis de velocidades mostró cómo el incremento en la velocidad de entrada afecta la dinámica del flujo dentro del sistema de colada. En la simulación con 0.3 m/s , la velocidad máxima alcanzada fue de 0.46 m/s , evidenciando un flujo uniforme y relativamente lento, con trayectorias bien dirigidas y mínimas perturbaciones en el codo del tubo. Al aumentar la entrada a 0.5 m/s , se observó una velocidad máxima de 0.81 m/s , con un flujo más acelerado

y ligeramente más complejo, pero sin formación de zonas de recirculación notables. En el caso de 0.7 m/s , la velocidad máxima llegó a 1.13 m/s , con un patrón más dinámico y presencia de trayectorias más curvas y compactas en la zona de transición, lo que indica un mayor impacto de la inercia del fluido. Estos resultados reflejan que, si bien un mayor caudal puede acelerar el proceso de colada, también puede generar zonas de flujo menos controladas.

○ **Resultados temperatura:**

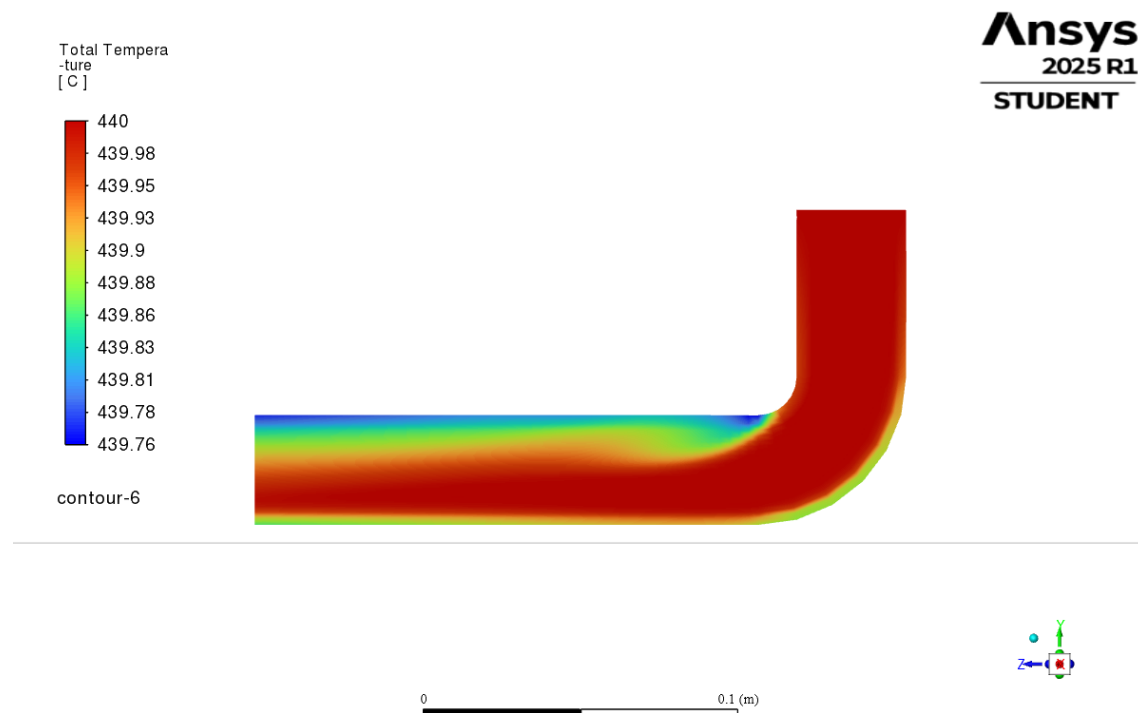


Figura #79. Resultado de Temperatura interna a 0.3 m/s

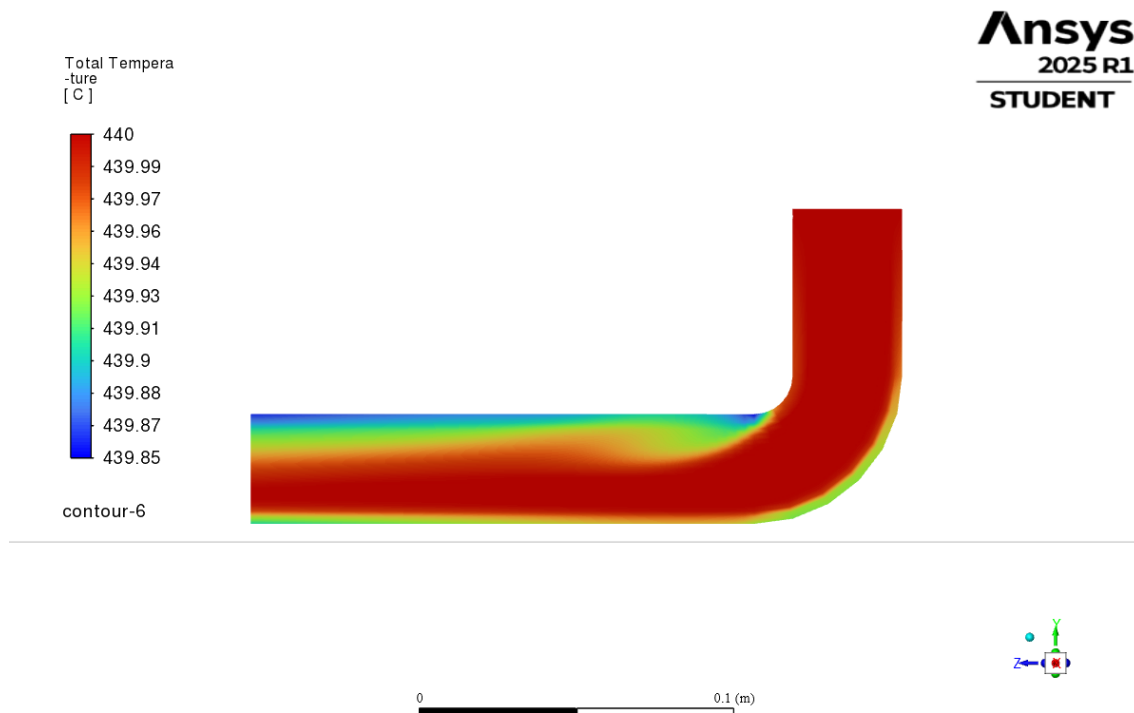


Figura #80. Resultado de Temperatura interna a 0.5 m/s

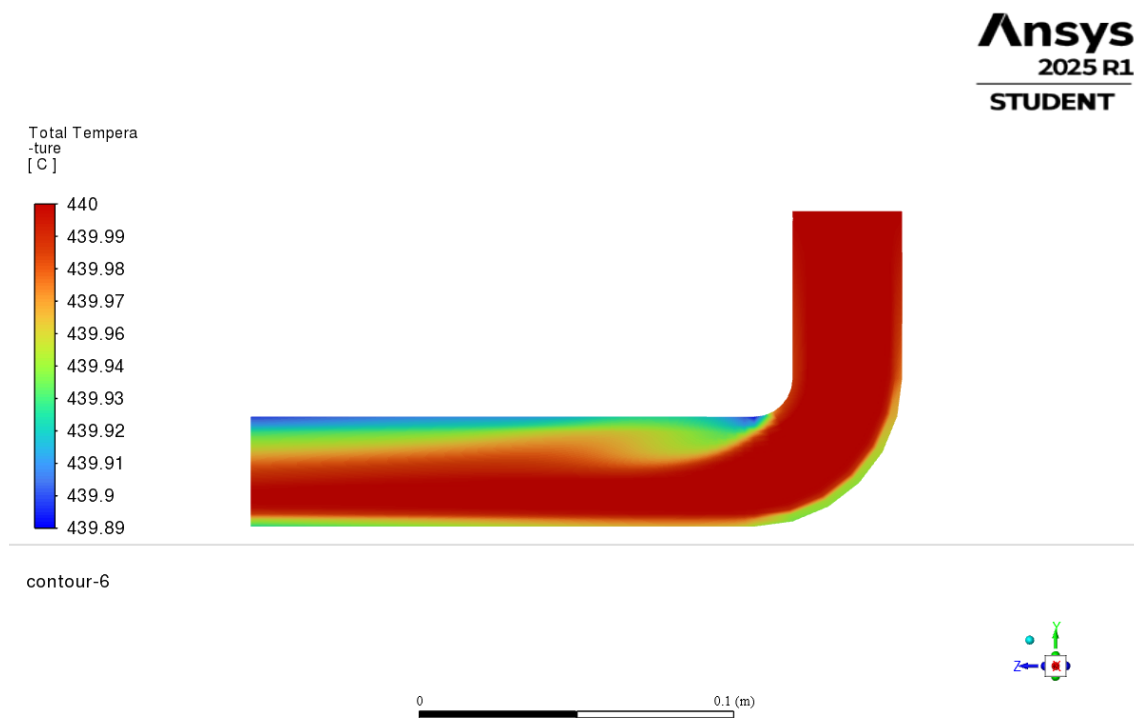


Figura #81. Resultado de Temperatura interna a 0.7 m/s

La temperatura del Babbitt fundido a lo largo del sistema de colado fue el parámetro central de esta simulación, ya que se necesita asegurar un recubrimiento interno adecuado en

el cojinete durante el proceso de fundición centrífuga. En las tres simulaciones, se evidenció que el diseño del colador permite mantener el calor del metal de manera eficiente, aunque con variaciones sutiles dependiendo de la velocidad de entrada. A una velocidad de 0.3 m/s , la temperatura de salida fue de $439.92\text{ }^{\circ}\text{C}$, mostrando una pérdida de $0.08\text{ }^{\circ}\text{C}$ desde su valor inicial de $440\text{ }^{\circ}\text{C}$. En el caso de 0.5 m/s , esta pérdida se redujo a $0.06\text{ }^{\circ}\text{C}$, alcanzando una temperatura final de $439.94\text{ }^{\circ}\text{C}$, mientras que con 0.7 m/s la temperatura de salida fue de $439.96\text{ }^{\circ}\text{C}$, es decir, una pérdida mínima de solo $0.04\text{ }^{\circ}\text{C}$. Este resultado indica que a velocidades altas favorecen la conservación térmica del fluido, ya que reducen el tiempo de contacto entre el Babbitt y las paredes del tubo, limitando así la transferencia de calor.

En definitiva, la simulación del sistema de colado permitió analizar el comportamiento térmico y dinámico del Babbitt fundido en tres condiciones distintas de velocidad. Los resultados demostraron que, si bien todas las configuraciones conservaron adecuadamente la temperatura del metal, velocidades más altas favorecen una menor pérdida térmica, siendo 0.7 m/s la más eficiente en ese aspecto. Sin embargo, este beneficio implica mayores exigencias en presión y velocidad, lo cual puede comprometer la estabilidad estructural del sistema. Por tanto, una velocidad intermedia como 0.5 m/s representa un punto de equilibrio óptimo entre eficiencia térmica y seguridad operativa, ofreciendo condiciones favorables para un vertido controlado y eficaz.

3. Experimentos

El Babbitt es un metal que puede ser compuesto principalmente de plomo o estaño, según el tipo de esta aleación, sus características pueden variar como su resistencia, temperatura de operación, etc. Por lo tanto, al recibir una muestra de Babbitt sin una determinación específica, era fundamental indagar y determinar experimentalmente cuál es el Babbitt disponible para

este proyecto. Por ende, se utilizó la normativa ASTM B23-20, que por medio de la dureza Brinell y el punto de fusión permite determinar aproximadamente el tipo de Babbitt.

- **Experimento 1: Fundición para determinar temperaturas y tiempo de calentamiento del Babbitt**

Para el primer experimento, se realizó un proceso de fundición para determinar la temperatura de fusión del material y el tiempo de calentamiento hasta los 450°C en un crisol. De esta forma, haciendo uso de una pistola termómetro, se pudo determinar que la temperatura de fundición del material es de alrededor de los 250°C , y el tiempo de calentamiento a 450°C , que corresponde a la temperatura de vertido, es de alrededor de 11 minutos. Es importante denotar que este tiempo se vio fuertemente influenciado por el uso del crisol el cual afecto el tiempo necesario para alcanzar la temperatura de 450°C .



Figura #82. Fundición de Babbitt

- **Experimento 2: Montado de una pieza de Babbitt para determinar su dureza Brinell**

Para este procedimiento se necesitaba montar la pieza para poder realizar el lijado del material y posteriormente el ensayo de dureza. Debido al punto de fusión del Babbitt, que ronda los $250\text{ }^{\circ}\text{C}$, la prensa de montaje que opera a altas presiones y una temperatura de $270\text{ }^{\circ}\text{C}$ no era una opción viable ya que con esas temperaturas el material se habría fundido y el equipo se hubiera dañado. Por esta razón, se tuvo que optar por utilizar un montaje en resina epóxica, específicamente con la resina Bühler EpoThin2 y su respectivo endurecedor. Para este proceso se utilizó el molde que se muestra en la imagen a continuación, y una cantidad suficiente de resina para poder satisfacer la relación de peso resina-endurecedor de 100:45, el tiempo de curado fue de alrededor de 12 horas a temperatura ambiente.



Figura #83. Montaje de la muestra de Babbitt

De este procedimiento se realizaron dos muestras para prevenir fallos experimentales y de montaje, las muestras luego se lijaron de la lija 120 a la 600, esto con la finalidad de conseguir una superficie lisa y nivelada que permita realizar un ensayo adecuado en la muestra. Esta medida es de particular importancia dado que el Babbitt es un metal blando, por lo que realizar un ensayo en este material debe llevarse a cabo de forma adecuada, caso contrario los

resultados serán erróneos. La muestra lijada para la máquina de ensayos se muestra a continuación:



Figura #84. Muestra montada de Babbitt en resina

Una vez preparada la muestra se realizó un ensayo de dureza Brinell, sin embargo, la configuración HBW 10/500/15 con un indentador de 10mm, que es el disponible en el laboratorio, no fue adecuada para la muestra montada en resina. Esto debido a la gran deformación presente dada la poca dureza del Babbitt y el tamaño del indentador. Por esta razón, se procedió a realizar un ensayo de dureza Rockwell, en la configuración HR15N, configuración óptima para la medición de dureza del Babbitt. El resultado que se obtuvo fue el que se muestra a continuación:



Figura #85. Resultado de la prueba de dureza

De esta forma se obtuvo el valor de 43.3 HR15N, no obstante, la normativa especificada anteriormente, requiere de una dureza Brinell, por lo que se utilizó la siguiente fórmula para hallar una aproximación de dureza Rockwell a Brinell:

$$HBW \approx \frac{HR15N - 25}{1.1}$$

$$HBW \approx \frac{46.3 - 25}{1.1}$$

$$HBW \approx 19.36$$

Con este valor y haciendo uso de la tabla X1.1 de la norma ASTM B23-20, que considera la composición y propiedades físicas de distintas aleaciones de Babbitt, es posible determinar el número de aleación correspondiente al material utilizado en este proyecto.

Tabla #30. Tabla X1.1 de la norma ASTM B23-20

https://standards.ahk.com/astm/b23-20

Alloy Number ^B	Specified Nominal Composition of Alloys, %					Specific Gravity ^C	Composition of Alloys Tested, %				Yield Point, psi ^D (MPa)	
	Tin	Antimony	Lead	Copper	Arsenic		Tin	Antimony	Lead	Copper	68°F (20°C)	212°F (100°C)
1	91.0	4.5		4.5		7.34	90.9	4.52	none	4.56	4400 (30.3)	2650 (18.3)
2	89.0	7.5		3.5		7.39	89.2	7.4	0.03	3.1	6100 (42.0)	3000 (20.6)
3	84.0	8.0		8.0		7.46	83.4	8.2	0.03	8.3	6600 (45.5)	3150 (21.7)
7	10.0	15.0	remainder		.45	9.73	10.0	14.5	75.0	0.11	3550 (24.5)	1600 (11.0)
8	5.0	15.0	remainder		.45	10.04	5.2	14.9	79.4	0.14	3400 (23.4)	1750 (12.1)
15	1.0	16.0	remainder		1.0	10.05						
Alloy Number ^B	Johnson's Apparent Elastic Limit, psi (MPa) ^E		Ultimate Strength in Compression ^F		Brinell Hardness ^G		Melting Point, °F (°C)	Temperature of Complete Liquefaction, °F (°C)	Proper Pouring Temperature, °F (°C)			
	68°F (20°C)	212°F (100°C)	68°F (20°C)	212°F (100°C)	68°F (20°C)	212°F (100°C)						
1	2450 (16.9)	1050 (7.2)	12 850 (88.6)	6950 (47.9)	17.0	8.0	433 (223)	700 (371)	825 (441)			
2	3350 (23.1)	1100 (7.6)	14 900 (102.7)	8700 (60.0)	24.5	12.0	466 (241)	669 (354)	795 (424)			
3	5350 (36.9)	1300 (9.0)	17 600 (121.3)	9900 (68.3)	27.0	14.5	464 (240)	792 (422)	915 (491)			
7	2500 (17.2)	1350 (9.3)	15 650 (107.9)	6150 (42.4)	22.5	10.5	464 (240)	514 (268)	640 (338)			
8	2650 (18.3)	1200 (8.3)	15 600 (107.6)	6150 (42.4)	20.0	9.5	459 (237)	522 (272)	645 (341)			
15					21.0	13.0	479 (248)	538 (281)	662 (350)			

De tal manera, una vez hallada tanto la dureza como el punto de fusión, fue posible determinar que se está trabajado con un Babbitt similar al de grado 1 según la norma. En consecuencia, el Babbitt no contaría con arsénico (As) ni plomo (Pb), o los presentaría en proporciones bajas, y estaría compuesto principalmente por una aleación de estaño (Sn), antimonio (Sb) y cobre (Cu).

Por lo tanto, determinar el grado del Babbitt ayuda a saber cuál es el rango de fusión del material según la ficha técnica publicada por comerciantes como Kapp Alloys & Wire Inc (2024), quienes mencionan que el rango de fusión está entre 223 – 371 °C mostrando que la aleación no es eutéctica al contar con un rango amplio de solidificación. Saber el grado también ayudó a realizar correctamente la simulación del comportamiento térmico y la distribución del material fundido colado en ANSYS y también permite indagar más a fondo sobre las aplicaciones que tiene este material en acerías, motores eléctricos, generadores y equipos marinos (Kapp Alloys, 2024).

PLAN DE PRUEBAS DEL PROTOTIPO

Prueba de vibraciones.

En este ensayo se va a medir qué tanto se mueve la máquina cuando está girando a 800 rpm, usando un cojinete de 8 pulgadas, ya que es en este caso donde más vibraciones se presentan por el peso y la carga que soporta el eje a través del mandril. Para esto se usa la aplicación *Phyphox*, que permite registrar los datos de movimiento desde un celular colocado sobre la estructura. Luego, esos datos se procesan con un código en MATLAB, que los convierte a una frecuencia en Hertz (Hz).

Esa frecuencia se compara con la frecuencia natural de los aceros usados en la máquina para verificar que no entre en resonancia, lo cual podría terminar dañando el equipo. Además, con esta prueba también se evalúa qué tan fuertes son las vibraciones que se generan en la mesa y si eso está afectando los recubrimientos con Babbitt, ya que, si se mueve demasiado, el material no se reparte bien por todo el interior del cojinete.

Prueba de recubrimiento

Como parte de las pruebas del prototipo, se tiene previsto realizar el recubrimiento de cojinetes de tres diferentes tamaños: 4, 6 y 8 pulgadas de diámetro. Esta prueba tiene como objetivo principal verificar que la máquina sea capaz de recubrir correctamente estos elementos, considerando las diferencias de masa, forma y contacto en cada uno.

Una vez realizadas las fundiciones con los tres tamaños, las piezas serán llevadas al torno para eliminar el exceso de material y dejar la superficie completamente lisa. Esto permitirá hacer una inspección visual detallada del resultado, observando la distribución del Babbitt en el interior del cojinete, así como la posible presencia de porosidades, zonas sin recubrimiento o grietas superficiales.

Además, se tiene contemplado evaluar inicialmente la adherencia del Babbitt con los tubos mediante un análisis visual. Para esto, se prepararán dos de las piezas (la de 4 y 8 pulgadas) con un recubrimiento previo de estaño, mientras que la de 6 pulgadas se mantendrá sin esta preparación. Esta comparación servirá para observar qué tanto influye este paso previo en la adherencia del Babbitt.

Análisis micrográfico de adherencia del Babbitt.

Con los tubos ya recubiertos con Babbitt, se tiene previsto cortar una sección transversal de una de las piezas utilizando el torno, para posteriormente extraer manualmente una pequeña muestra en la zona de contacto entre el Babbitt y el acero. Esta muestra se utilizará para preparar una baquelita con resina, con el fin de encapsular adecuadamente la unión y poder pulirla de forma progresiva hasta alcanzar el paño de 1 micra.

Una vez que la pieza montada está completamente pulida, se procederá a observarla en el microscopio con el objetivo de analizar el comportamiento del recubrimiento justo en la zona de adherencia. Lo que se busca es identificar posibles defectos como porosidades internas, zonas con mala fusión entre materiales, o áreas en las que el Babbitt se haya desprendido. Con este análisis se podrá evaluar la calidad del proceso de fundición y determinar si la adherencia del material cumple con lo esperado.

Evaluación del espesor de los recubrimientos

Esta prueba consiste en realizar una serie de mediciones de espesor en todo el contorno del recubrimiento utilizando un micrómetro. Para ello, se toma como referencia el eje del cojinete recubierto y se procede a medir cada 10 grados, hasta completar los 360 grados, asegurando así una lectura uniforme y detallada a lo largo de toda la circunferencia.

El objetivo principal de esta prueba es conocer cómo varía el espesor del recubrimiento de Babbitt en distintos puntos del cojinete, identificando los valores máximos y mínimos y analizando si existe una distribución uniforme del material.

Además, al repetir este procedimiento para los tres tamaños de tubos (4, 6 y 8 pulgadas), se podrá observar cómo influyen el peso y las dimensiones de cada pieza en el comportamiento de la máquina durante el proceso de fundición. Esta comparación permitirá identificar si el tamaño o masa del cojinete tiene algún efecto en la calidad del recubrimiento, especialmente en lo relacionado a la uniformidad del espesor.

Con los datos obtenidos, se pretende evaluar de manera visual y cuantitativa la calidad del recubrimiento alcanzado por la fundidora centrífuga en diferentes condiciones de trabajo.

SEGURIDAD A TRAVÉS DEL DISEÑO Y ANÁLISIS BASADO EN RIESGOS

A continuación, se presentará un análisis detallado de los riesgos asociados al desarrollo del proyecto. Dado que el trabajo involucra el diseño, fabricación y operación de un sistema para el recubrimiento de piezas con la aleación Babbitt, se han identificado diversos factores que pueden afectar el cumplimiento de los objetivos propuestos. Estos riesgos abarcan desde problemas en el cálculo y diseño, retrasos en la adquisición de materiales, hasta aspectos críticos relacionados con la seguridad en la manipulación del metal fundido.

- **Criterios para la Identificación de Riesgos**

Los riesgos identificados han sido seleccionados en función de su impacto en el desarrollo del proyecto y la probabilidad de que ocurran. Para ello, se han clasificado según su nivel de prioridad, el cual se calcula multiplicando el impacto por la probabilidad de ocurrencia. De esta manera, se ha establecido una escala de colores que permite priorizar los riesgos de forma visual:

Matriz de Evaluación de Riesgos							
		Severidad					
		Número	Negligible	Menor	Moderado	Mayor	Extremo
Probabilidad (Ocurrencia)	Muy Improbable	1	1	2	3	4	5
	Ocurre Raramente	2	2	4	6	8	10
	Posible	3	3	6	9	12	15
	Ocurre Probablemente	4	4	8	12	16	20
	Ocurre Frecuentemente	5	5	10	15	20	25
	Número		1	2	3	4	5

Figura #86. Escala de ponderación de Prioridad

- **Rojo (Prioridad alta - 12 a 25):** Representa riesgos críticos que pueden comprometer el éxito del proyecto o generar problemas graves de seguridad o de ejecución.
- **Amarillo (Prioridad media - 5 a 10):** Incluye riesgos que pueden afectar la eficiencia del proceso o generar retrasos en la ejecución del proyecto.
- **Verde (Prioridad baja - 1 a 4):** Agrupa riesgos con menor impacto y probabilidad, los cuales pueden ser manejados con estrategias de control básicas.

De tal manera, dado el alcance del proyecto que requiere precisión en los cálculos estructurales, térmicos y dinámicos, así como una planificación rigurosa en la fabricación y pruebas del sistema, se ha llevado a cabo un estudio de riesgos con el fin de identificar las amenazas más relevantes y establecer estrategias de mitigación adecuadas. A continuación, se presentan los riesgos analizados, ordenados según su prioridad.

Análisis de Riesgos del Proyecto (Ordenado por Prioridad)

Código	Descripción	Prioridad	Responsable	Decisión_Tomada	Estatus	Observaciones
1	Problemas y retrasos con realización de cálculos de estática, diseño y termodinámicos.	20	André Cevallos	Prepararse: Revisar cálculos, hacer simulaciones y validar hipótesis con expertos.	Vigente	Asegurar disponibilidad de software de simulación y recursos técnicos.
11	Vibraciones excesivas en el mandril y el eje de giro.	15	André Cevallos	Reducir: Balanceo adecuado del sistema y alineación del mandril antes de operar.	Vigente	Pruebas de vibración y ajuste del eje previo a la fundición.
2	Retraso en la fabricación y pruebas del sistema de giro y fundición.	12	André Cevallos	Reducir: Optimizar el flujo de trabajo y ajustar cronograma con márgenes de tiempo.	Vigente	Coordinar con el equipo de producción para minimizar demoras.
8	Problemas con sistema de vertido del recubrimiento babbit en el cojinete.	12	Nicolás Ortiz	Reducir: Control estricto del sistema de vertido y pruebas previas en laboratorio.	Vigente	Implementar pruebas de calidad antes de la fundición.
9	Control de temperatura en el calentamiento del Babbitt.	10	Nicolás Ortiz	Reducir: Implementar sensores de temperatura calibrados y procedimientos de control.	Vigente	Monitoreo constante de temperatura y ajuste automático si es necesario.
3	Selección inadecuada de materiales a utilizarse para la construcción.	10	Jackson Alcívar	Evitar: Seleccionar materiales adecuados según normas de fundición.	Vigente	Asegurar compatibilidad de materiales con el proceso de fundición.

Figura #87. Análisis de Riesgos presentes 1

4	Problemas con sistema de enfriamiento y calentamiento del sistema.	9	Nicolás Ortiz	Reducir: Implementar monitoreo térmico y ajustar curvas de calentamiento.	Vigente	Monitoreo en tiempo real para evitar sobrecalentamientos.
10	Deslizamiento o falla en las bandas de transmisión.	10	Jackson Alcívar	Reducir: Mantenimiento preventivo y monitoreo de la tensión de las bandas.	Vigente	Verificación de tensión de bandas antes de cada operación.
7	Sistema de control de temperatura, velocidad de rotación y vertido defectuoso.	8	Jackson Alcívar	Asegurar: Implementar sensores redundantes y pruebas de funcionamiento del sistema.	Vigente	Garantizar redundancia en sistemas críticos para evitar fallas.
6	Retraso en la adquisición de materiales y componentes.	8	Sebastián Acurio	Transferir: Buscar proveedores alternativos y realizar pedidos con anticipación.	Vigente	Revisión de contratos con proveedores para evitar retrasos críticos.
12	Riesgo de accidentes por atrapamiento en el sistema de transmisión por bandas.	4	Sebastián Acurio	Mitigar: Implementar resguardos de seguridad y capacitar al personal en prevención.	Vigente	Uso de señalización clara y resguardos físicos en la zona de transmisión.
5	Riesgos de seguridad durante la manipulación del metal fundido.	4	Sebastián Acurio	Mitigar: Capacitar al personal en manejo seguro del metal fundido.	Vigente	Implementar protocolos de seguridad y simulacros periódicos.

Figura #88. Análisis de Riesgos presentes 2

Los riesgos de mayor prioridad, señalados en color rojo, presentan una alta probabilidad de impacto, lo que significa que su ocurrencia podría afectar de manera significativa el desarrollo del proyecto. A continuación, se detallan estos riesgos y las estrategias propuestas para su mitigación.

1. Problemas y retrasos con realización de cálculos de estática, diseño y termodinámicos (Prioridad: 20)

a. Importancia:

Un diseño incorrecto puede comprometer la estabilidad del sistema, la eficiencia térmica y la distribución de fuerzas en el mecanismo de giro. Este

problema no solo impacta la calidad de las piezas fundidas, sino que también puede generar fallos estructurales y desperdicio de material.

b. Mitigación:

Se recomienda revisar y validar todos los cálculos mediante software de simulación antes de proceder con la construcción del sistema. Además, se debe contar con asesoramiento de profesores para evaluar la viabilidad del diseño.

2. Vibraciones excesivas en el mandril y el eje de giro (Prioridad: 15)

a. Importancia:

Un eje desbalanceado o un mandril mal alineado pueden generar vibraciones, afectando la uniformidad del recubrimiento de Babbitt.

b. Mitigación:

Asegurar el balanceo adecuado del sistema, realizar pruebas previas y ajustar la alineación del mandril antes de cada operación. Rigidizar la estructura (bastidor) de la máquina.

3. Retraso en la fabricación y pruebas del sistema de giro y fundición (Prioridad: 12)

a. Importancia:

La fabricación y pruebas del sistema son cruciales para validar su funcionamiento antes de la fase operativa. Cualquier retraso en esta etapa podría afectar el cronograma general del proyecto y comprometer su entrega en los tiempos establecidos.

b. Mitigación:

Se recomienda optimizar el flujo de trabajo y ajustar el cronograma con márgenes de tiempo suficientes para evitar demoras inesperadas. Además, es

fundamental la coordinación efectiva entre los miembros del equipo de fabricación.

4. Problemas con el sistema de vertido del recubrimiento Babbitt en el cojinete
(Prioridad: 12)

a. Importancia:

Un vertido incorrecto del metal fundido puede generar defectos en las piezas, como porosidad, segregación o adherencias inadecuadas, afectando la calidad del producto final.

b. Mitigación:

Se debe implementar un control estricto del sistema de vertido, asegurando que la temperatura y la velocidad sean óptimas. También se recomienda realizar pruebas previas en laboratorio para verificar la calidad del recubrimiento antes de la producción final.

RESULTADOS PRINCIPALES Y DISCUSIÓN

Prueba de recubrimiento

○ Tubo de 6 in

Para iniciar con la etapa de pruebas, se realizó el recubrimiento de un tubo de 6 pulgadas sin aplicar previamente una capa base de estaño, pero sí aplicando un proceso de *sandblasting* en la superficie interna del cojinete con el fin de generar rugosidad y mejorar la adherencia del Babbitt al acero. Para este tubo, se fundió 1.02 kg de Babbitt Se ejecutó todo el procedimiento previsto: precalentamiento de las piezas, fundición del Babbitt, vertido del material en el mandril giratorio y enfriamiento mediante el sistema de agua.

Una vez concluido este proceso, la pieza fue llevada al torno para ser maquinada, eliminando el exceso de material y dejando una superficie completamente lisa que permita una correcta inspección visual del recubrimiento obtenido.



Figura #89. Tubo recubierto de 6 in. maquinado en el torno

Al observar la superficie de la pieza ya mecanizada, se evidenció que no existían porosidades ni grietas superficiales, lo cual sugiere inicialmente una buena cohesión. Sin embargo, al revisar más detenidamente la unión entre el Babbitt y la superficie base, se detectaron zonas donde la capa de recubrimiento se encontraba levantada.



Figura #90. Capa de Babbitt levantada en tubo de 6 in

Esto indica una mala adherencia del Babbitt al acero, la cual se debe a la ausencia del recubrimiento base de estaño. Este proceso previo de estañado ya había sido considerado como una posible mejora para la calidad de la unión entre el recubrimiento y el acero, ya que al aplicar una capa fina de estaño se facilita la adherencia del Babbitt con la superficie base, reduciendo las posibilidades de zonas de desprendimiento. En este caso, al no haberse aplicado dicho procedimiento y solo haber utilizado el *sandblasting* como método de preparación

superficial, se pudo comprobar que este no fue suficiente para garantizar una adherencia óptima.

- **Tubo de 8 in**

Se volvió a realizar el mismo procedimiento de recubrimiento, esta vez con el tubo de 8 pulgadas y con 2 kg de Babbitt, incluyendo el estañado previo antes del vertido del Babbitt. Una vez maquinada la pieza en el torno, se llevó a cabo la inspección visual correspondiente.



Figura #91. Tubo recubierto de 8 in. maquinado en el torno

Tras la inspección visual se pudo observar, al igual que en el caso anterior, que no existían porosidades ni grietas superficiales, lo cual indica una buena ejecución del vertido y un correcto control de enfriamiento. Sin embargo, a diferencia de lo observado con el tubo de 6 pulgadas, en este caso no se evidenció ningún tipo de desprendimiento ni levantamiento del Babbitt. La capa de recubrimiento se mantuvo completamente adherida a la superficie del acero, incluso tras el mecanizado, lo cual indica una unión sólida y confiable.

Esto demuestra que, además del precalentamiento, el proceso de estañado previo es necesario para lograr una buena unión del recubrimiento. Incluso resulta más efectivo que solo el *sandblasting*, ya que garantiza una mejor adherencia del Babbitt al tubo, lo cual se refleja directamente en la calidad del resultado final.

○ **Tubo de 4 in**

Finalmente, se llevó a cabo el mismo procedimiento de recubrimiento con el tubo de 4 pulgadas, el cual también fue sometido a un tratamiento previo con estaño antes de la fundición. Para este proceso se fundió 1 kg de Babbitt. Una vez terminada la operación y tras el maquinado en el torno para dejar la superficie completamente lisa, se realizó la inspección visual correspondiente.



Figura #92. Tubo recubierto de 4 in. maquinado en el torno

El recubrimiento obtenido no presentó grietas, porosidades ni ningún defecto superficial, lo que indica que la fundición, el vertido y el enfriamiento se realizaron correctamente. Además, al igual que en el caso del tubo de 8 pulgadas, no se evidenció ningún desprendimiento del Babbitt, lo que confirma una buena adherencia del material fundido con la superficie base.

La aplicación del estañado previo permitió lograr una unión firme entre el Babbitt y el tubo de acero, lo que valida nuevamente la importancia de este tratamiento.

Comparación general

Comparando los resultados obtenidos entre los tres cojinetes, se puede observar que el recubrimiento es adecuado, ya que no se evidencian porosidades ni grietas superficiales, lo cual indica que el proceso de operación se está realizando a las velocidades y temperaturas correctas. Por otra parte, se destaca la importancia del recubrimiento base con estaño, ya que, como se observó en el caso del tubo de 6 pulgadas, la ausencia de esta capa provoca una deficiente adherencia del Babbitt, generando desprendimientos del material durante el proceso, lo cual compromete la calidad final del recubrimiento.

Evaluación del espesor de los recubrimientos

Para medir la calidad del recubrimiento de Babbitt en las paredes de los tubos recubiertos, se utilizó un micrómetro para realizar una serie de mediciones del espesor del Babbitt con el material base en toda la superficie interna. Estas mediciones se efectuaron tomando como referencia el eje del tubo, y se llevaron a cabo cada 10 grados, cubriendo los 360 grados de su circunferencia. De esta manera, se obtuvo un perfil detallado de cómo se distribuye el material en el recubrimiento, permitiendo identificar tanto los valores máximos como los mínimos de espesor.

Este procedimiento se repitió para cada uno de los tubos recubiertos correspondientes a los tres tamaños establecidos: 4, 6 y 8 pulgadas. El propósito de esta serie de mediciones no solo fue identificar la uniformidad del recubrimiento, sino también analizar posibles variaciones asociadas al peso, la masa o la geometría de cada tubo, ya que estos factores pueden influir directamente en el comportamiento de la fundidora durante el proceso de vertido y centrifugado.

○ **Tubo de 4 in**

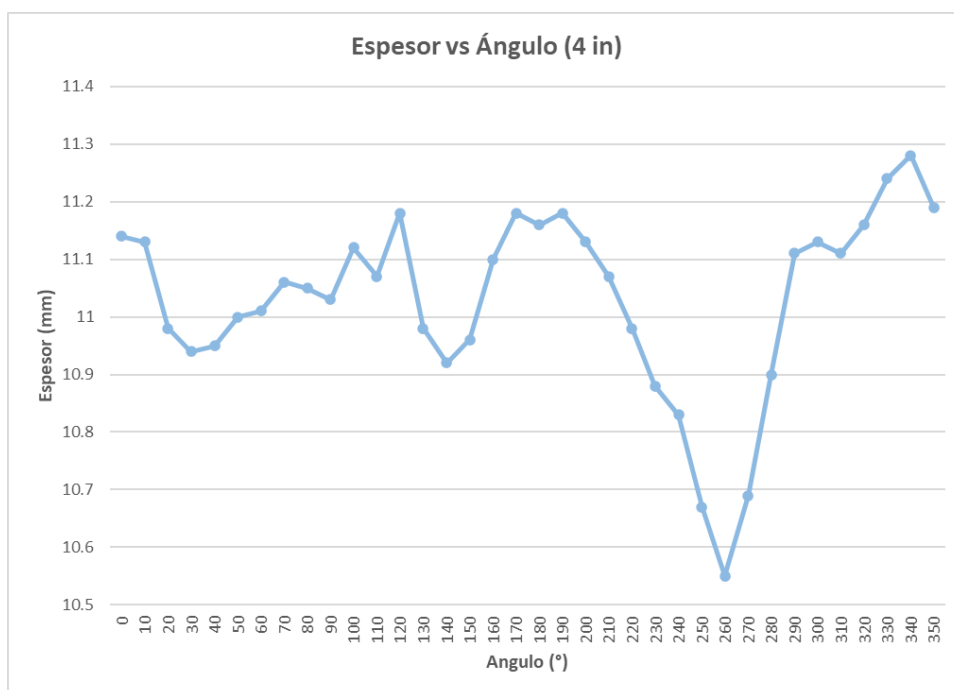


Figura #93. Deformación en función del desplazamiento angular a lo largo del tubo de 4 in

En el caso del tubo de 8 pulgadas, se registraron valores de espesor que oscilan entre un mínimo de 11.28 mm y un máximo de 11.56 mm, lo que representa una diferencia de 0.73 mm entre los puntos medidos. Si bien la gráfica correspondiente muestra una aparente variabilidad a lo largo de la circunferencia, esta no resulta significativa al considerar que las diferencias se encuentran dentro del rango de los micrómetros. Por lo tanto, se puede afirmar que el recubrimiento obtenido en esta pieza presenta un grado aceptable de uniformidad, especialmente si se considera el tamaño y peso del tubo. Esta estabilidad en el espesor sugiere que, para este caso, el proceso de fundición logró distribuir el material de manera adecuada, sin que se generen zonas críticas de acumulación.

○ **Tubo de 6 in**

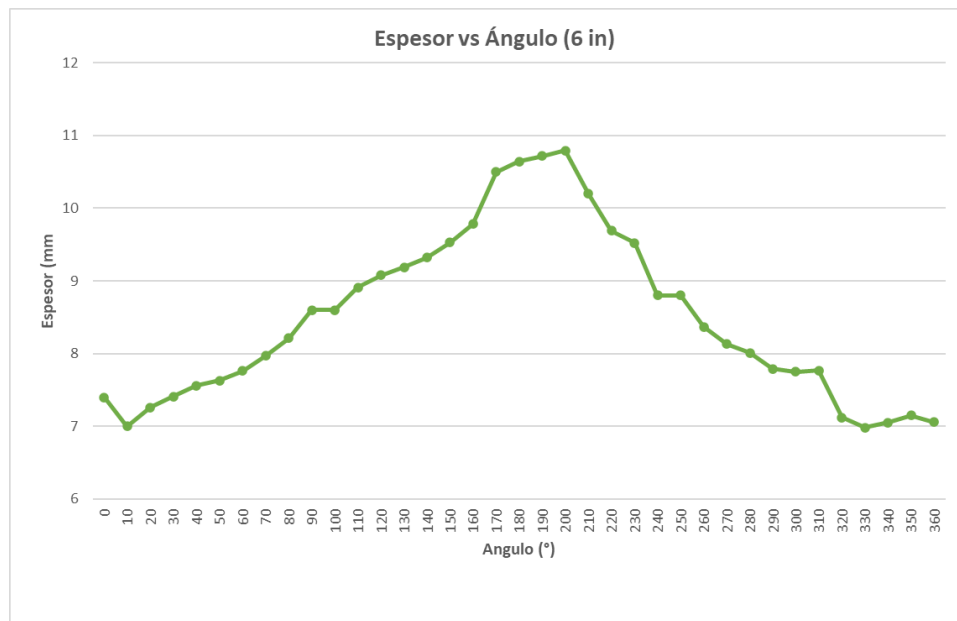


Figura #94. Deformación en función del desplazamiento angular a lo largo del tubo de 6 in

Para el recubrimiento del tubo de 6 pulgadas podemos observar que hay una distribución menos uniforme en la gráfica, lo cual se ve reflejado en los valores obtenidos, teniendo un espesor máximo de 10.78 mm y un mínimo de 6.98 mm, generando una diferencia de 3.73 mm. Como se puede notar, el resultado es claramente menos uniforme, lo cual afecta directamente a la hora de definir la cantidad de material a fundir, ya que no se puede establecer un espesor constante en toda la superficie.

Esta diferencia en espesores y la falta de uniformidad pueden interpretarse como consecuencia de una mala alineación del tubo con el mandril, considerando que el mandril utilizado no fue de tipo autocentrante. Al no garantizar una posición equidistante del tubo respecto al eje de rotación, las fuerzas centrífugas generadas durante el giro tienden a distribuir el Babbitt de forma desigual, acumulándose más de un lado que del otro. Esto ocurre porque la excentricidad inicial del montaje provoca que el lado más cercano al eje reciba menor cantidad de material fundido, mientras que el lado más alejado actúa como una zona de acumulación, debido al mayor efecto de la fuerza centrífuga en ese punto.

Este comportamiento se aprecia también a simple vista durante la inspección visual del recubrimiento, ya que la parte más gruesa del Babbitt se encuentra enfrentada directamente a la más delgada, formando un patrón opuesto que evidencia este desplazamiento radial del material fundido. Adicionalmente, se puede considerar como causa complementaria una ligera deflexión del eje que sostiene el mandril, debido a su longitud y al peso de la pieza, lo cual también puede contribuir a la distribución irregular del material durante la fundición.

○ **Tubo de 8 in**

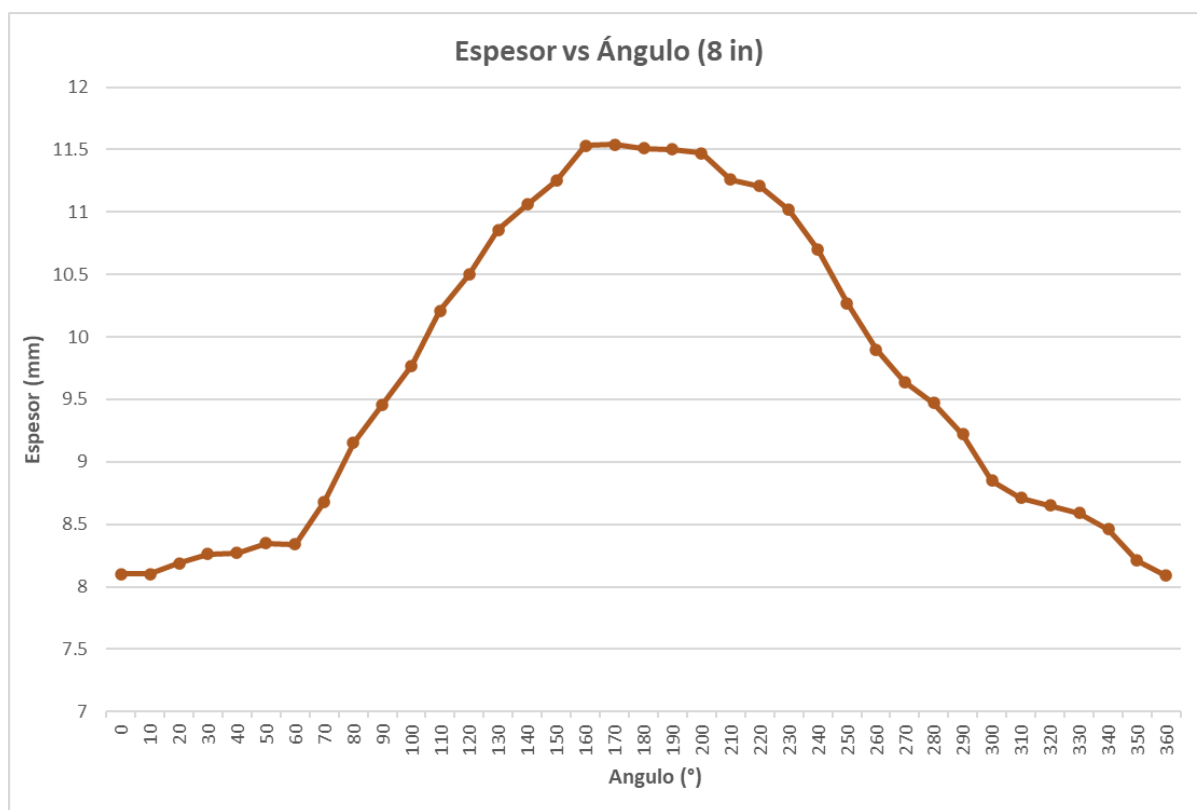


Figura #95. Deformación en función del desplazamiento angular a lo largo del tubo de 8 in

Finalmente, para el tubo de 8 pulgadas se observa una distribución del recubrimiento similar a la obtenida en el tubo de 6 pulgadas. En este caso, los valores registrados presentan un espesor máximo de 11.65 [mm] y un mínimo de 8.03 [mm], generando una diferencia de 3.62 [mm]. Aunque se aprecia una capa de recubrimiento más gruesa en comparación con los

otros tubos, esta sigue sin ser uniforme, y al igual que en el caso anterior, esta variabilidad puede percibirse claramente mediante una inspección visual directa.

La explicación para esta falta de uniformidad vuelve a estar relacionada con una incorrecta alineación de la pieza en el mandril. Dado que no se utilizó un sistema auto-centrante, la tubería no quedó completamente alineada con el eje de rotación, lo que provocó que el efecto de la fuerza centrífuga fuera desigual. El lado de la pieza más alejado del eje experimentó una mayor aceleración radial, lo que llevó a que el Babbitt fundido se acumule con más fuerza en esa dirección, mientras que el lado opuesto recibió menos material, resultando en espesores distintos a lo largo del contorno.

Además, al tratarse del tubo de mayor tamaño, también se convierte en el más pesado. Este aumento en la masa influye directamente sobre la estructura que sostiene el mandril, generando una mayor deflexión en el eje principal. Esta flexión adicional puede alterar la geometría del giro, intensificando el desequilibrio en la distribución del Babbitt durante la fundición. Así, el conjunto de una mala alineación inicial y una mayor deformación estructural causada por el peso del tubo contribuyen a obtener un recubrimiento con diferencias marcadas de espesor que deben ser consideradas para futuras mejoras del sistema.

Comparación general

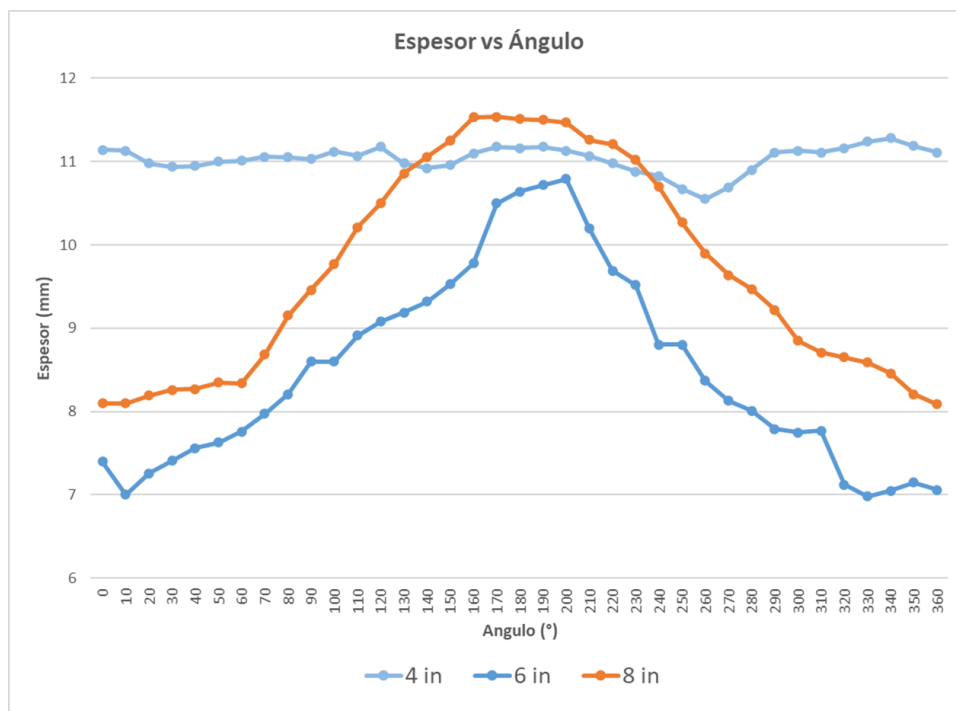


Figura #96. Deformación en función del desplazamiento de los 3 tubos

Como se puede observar, en la pieza de 4 pulgadas se obtuvo el recubrimiento más uniforme entre todos los casos analizados. Esto se debe principalmente a que, al ser una pieza más pequeña y ligera, genera menos esfuerzo sobre el eje en rotación, reduciendo así cualquier posibilidad de deflexión o deformación estructural. Además, su menor masa facilita una mejor alineación en el mandril, lo que permite que las fuerzas centrífugas se distribuyan de manera más equilibrada durante la colada del Babbitt.

En cambio, en los tubos de 6 y 8 pulgadas se presentan diferencias más notables en el espesor del recubrimiento. Esto se debe a dos factores principales: por un lado, su mayor peso genera una deflexión considerable en el eje, lo que altera el comportamiento dinámico de la rotación; y por otro lado, la falta de un sistema auto-centrante impide un correcto alineamiento de las piezas dentro del mandril. Como consecuencia, la distribución del Babbitt se ve afectada, concentrándose más en un lado que en otro, lo que se traduce en un recubrimiento menos uniforme y con diferencias de espesor claramente visibles en la inspección visual.

Resultados de vibraciones

Haciendo uso de la aplicación *Phyphox*, se registraron aceleraciones sobre la estructura de la máquina de fundición centrífuga, estas mediciones se realizaron durante la operación en condiciones de fundido (rotaciones $\Rightarrow 800 \text{ rpm}$). Las mediciones realizadas presentaron un comportamiento oscilante. Para obtener la frecuencia dominante de vibración se realizaron los siguientes pasos:

Se tomaron en cuenta los datos de entrada: tiempo $[s]$ y aceleración $\left[\frac{m}{s^2}\right]$

La vibración de un sistema se puede modelar como una señal oscilatoria, lo cual se representa como:

$$a(t) = A \cdot \sin(2\pi f t + \phi)$$

Donde: $a(t)$ es aceleración, A es amplitud, f es frecuencia, t es tiempo y ϕ es fase.

Para encontrar la frecuencia en señales reales, se utiliza una transformada rápida de Fourier (FFT), debido a que la transformada de Fourier descompone una señal $a(t)$ en una suma de senos y cosenos, esto quiere decir, qué frecuencias están presentes y cuánta energía tiene cada una.

$$a(t) = \sum_k A \cdot \sin(2\pi f_k t + \phi_k)$$

Para este procedimiento es necesario determinar el número N que es el vector de aceleración, el intervalo de muestreo Δt y la frecuencia de muestreo $f_s = \frac{1}{\Delta t}$

Con estos datos establecidos, se puede aplicar la FFT para convertir la señal del dominio del tiempo al dominio de la frecuencia, donde la transformada es:

$$A(f) = FFT(a(t))$$

Para hallar la frecuencia dominante, la que caracteriza la frecuencia de operación de la máquina, se debe determinar:

$$f_{dominante} = f_{\text{máximo}}(|A(f)|)$$

Para hallar estos resultados se desarrolló un código de Matlab, para poder procesar los datos. El código permite plantear y calcular los procesos anteriormente descritos. Este código, permite visualizar el espectro de frecuencias que se obtiene a través de la FFT donde se puede observar la frecuencia, que corresponde a cada frecuencia analizada, y el eje; y que corresponde a la amplitud que muestra cuánta energía tiene cada frecuencia dentro de la medición.

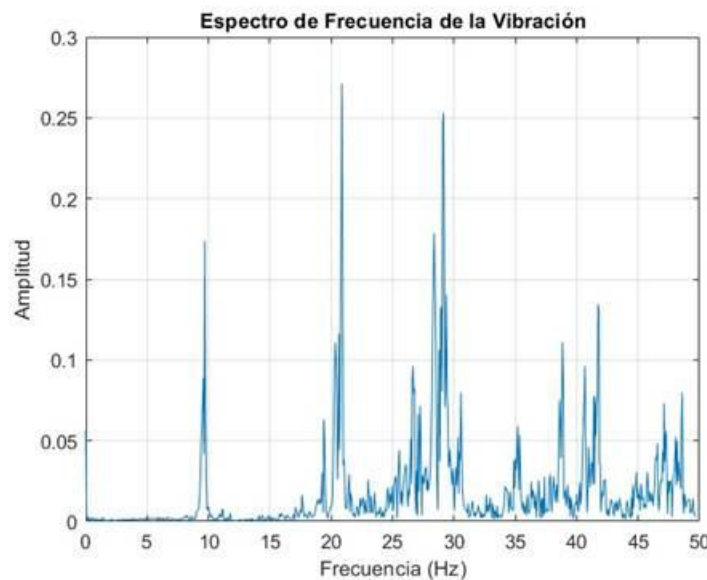


Figura #97. Espectro de frecuencias durante la operación de la fundidora

La gráfica muestra varios picos representativos de energía relativa en diferentes frecuencias. La frecuencia dominante corresponde al pico mayor de esta gráfica, que es el punto que es la frecuencia que más contribuye al movimiento oscilante que estás midiendo, esta frecuencia corresponde principalmente al giro del mandril, que se identifica como la principal fuente de vibraciones del sistema.

La frecuencia dominante de la fundidora centrífuga corresponde a 20.87 Hz.

La máquina gira a 800 rpm, lo que indica una frecuencia de rotación de 13.33 Hz, y la frecuencia dominante es de 20.87Hz, esto corresponde a más o menos 1.5 veces el armónico, lo que puede indicar vibraciones superiores a las correspondientes. Por lo tanto, el sistema debe ser analizado promedio de la normativa ISO 20816-3, que permite la evaluación de vibración de máquinas. Esta normativa establece los criterios para la evaluación de la severidad de vibraciones mecánicas en máquinas rotativas, esta normativa por medio del sistema de clasificación que establece permite determinar si una máquina está en condiciones óptimas de operación, si requiere mantenimiento, o si debe ser detenida por riesgo de falla (ISO, 2022).

El procedimiento de cálculo según la normativa establece que se necesitan los datos de vibraciones. Estos fueron medidos por medio del acelerómetro. Con estos datos se debe calcular la aceleración RMS:

$$a_{RMS} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N a_i^2}$$

La normative ISO 20816-3 evalúa la velocidad RMS, por lo que se realiza el siguiente cálculo:

$$V_{RMS} = \frac{a_{RMS}}{2\pi f}$$

Con los resultados de aceleración RMS, es posible determinar el grado de calidad, haciendo uso de la siguiente tabla que permite el análisis según la normativa:

Tabla #31. Clasificación de clase de vibraciones según el tipo de máquina

Power	≤15 kW	>15kW ≤300kW		>300kW ≤50MW	
Mounting	Rigid / Flexible	Rigid	Flexible	Rigid	Flexible
Vibration mm/s RMS	Class A	Class A	Class A	Class A	Class A
1.12	Class B	Class A	Class A	Class A	Class A
1.4	Class B	Class B	Class A	Class A	Class A
2.3	Class B	Class B	Class B	Class B	Class A
2.8	Class C	Class C	Class B	Class B	Class A
3.5	Class C	Class C	Class B	Class B	Class B
4.5	Class D	Class D	Class C	Class C	Class B
7.1	Class D	Class D	Class D	Class D	Class C
11.0	Class D	Class D	Class D	Class D	Class D

La velocidad RMS de la máquina en condiciones de operación corresponde a 5.4 mm/s, lo cual posiciona a la fundidora (<15W) en clase D de funcionamiento, lo cual sugiere que se debe dar mantenimiento correctivo inmediato.

Resultados de análisis micrográfico

El Babbitt es un material de bajo punto de fusión en comparación al acero, por este motivo se tuvo que realizar un montaje en resina epóxica para su posterior pulido, ya que el montaje en baquelita necesita temperaturas de 270°C. El montaje de la muestra se presenta a continuación:



Figura #98. Muestra de recubrimiento de babbitt montada en resina

Con la muestra montada se pudo realizar una pulida de tipo espejo para observar la apariencia micrográfica de la zona de adherencia entre el acero y el Babbitt. Para evaluar la calidad del recubrimiento se deben considerar los siguientes puntos:

- La adherencia entre el acero base y el Babbitt debe presentar una zona de transición relativamente continua, que no posea una “línea negra” completamente marcada, lo cual mostraría una división muy pronunciada, y, por lo tanto, una adherencia deficiente (Dong, Yin, Li, Gao, & Mao, 2020).
- El Babbitt debe presentarse homogéneo, sin poros visibles, ni grietas o inclusiones para garantizar buena calidad de la capa de recubrimiento (Aranda & Wiesner, 2010).
- Si se realizó un precalentamiento adecuado, de alrededor de doscientos grados centígrados, y un vertido de alrededor de cuatrocientos cincuenta grados, se debe presenciar una integración metalúrgica sin signos de delaminación (Dong, Yin, Li, Gao, & Mao, 2020).

Los resultados que se presentan a continuación pertenecen al recubrimiento del cilindro de 8in de diámetro, este procedimiento se realizó a 800 *rpm* en la secuencia mencionada en secciones previas para garantizar un recubrimiento de calidad y sin fallas.

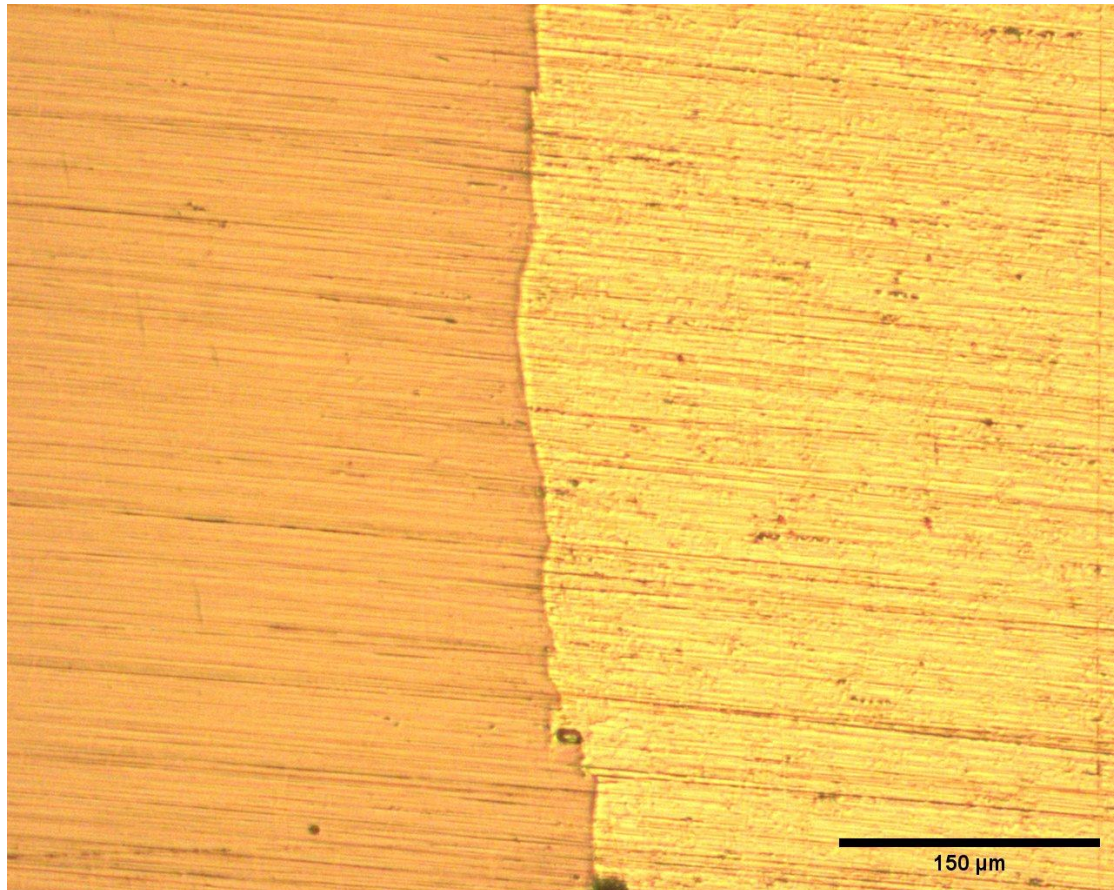


Figura #99. Zona de transición entre acero y Babbitt 200X

De esta imagen se puede destacar una clara distinción entre el acero y el Babbitt siendo este último de apariencia más clara, sin embargo, la zona de transición se puede observar pronunciada, pero difusa en apariencia, lo cual permite observar un recubrimiento de buena calidad, que fue logrado por las condiciones operativa, garantizando un factor G adecuado, y con una preparación previa del cojinete, la cual consistió en un estañado.

La apariencia de la zona de recubrimiento próxima a la superficie de acero muestra buena calidad, sin mayor cantidad de inclusiones, ni grietas, ni porosidades visibles considerables. De acuerdo con Luo et al. (2024) la zona de recubrimiento de Babbitt próxima al metal base (cojinete), presenta una microestructura donde se observa la calidad del recubrimiento más densa y refinada, además de una presencia menor de impurezas. Anteriormente, se pudo

presenciar un recubrimiento con adherencia satisfactoria y apariencia de buena calidad en la zona de recubrimiento. De forma complementaria a análisis de la zona de recubrimiento, a continuación, se presenta la apariencia del babbitt del recubrimiento:

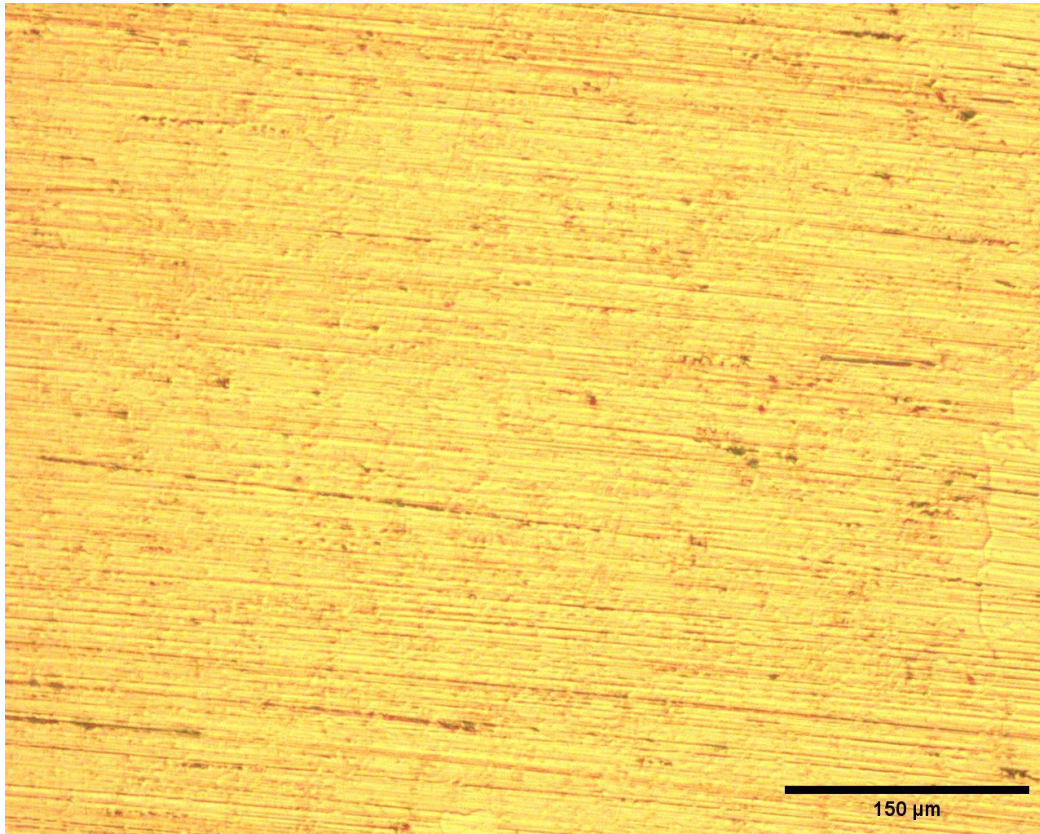


Figura #100. Babbitt de recubrimiento. 200x

La apariencia del recubrimiento se muestra similar a la de la zona de transición, lo cual indica una calidad de recubrimiento homogénea a lo largo del recubrimiento, lo que indica que los defectos comunes en este tipo de recubrimientos, mencionados anteriormente, no están presentes en este recubrimiento. Cabe recalcar que la presencia de inclusiones en las zonas de recubrimiento, principalmente se deben a impurezas procedentes del material utilizado.

CONCLUSIONES

En este proyecto de diseño y fabricación de una máquina para fundición centrífuga se lograron satisfactoriamente los objetivos propuestos. Se diseñó y construyó una máquina capaz de realizar recubrimientos con aleación de Babbitt, logrando buena adherencia, espesor uniforme y alta calidad en el revestimiento. Este tipo de procedimiento es poco común en el medio nacional, y la máquina desarrollada permitió ejecutar estos recubrimientos de forma satisfactoria y accesible. Los requerimientos de espacio, recursos y materiales son considerablemente bajos, además de contar con una construcción que facilita su movilización. Esto hace que el producto sea atractivo ante las necesidades del mercado nacional y ofrezca soluciones de bajo costo a empresas que demanden este tipo de servicios.

La máquina demostró ser adaptable a diferentes tamaños y longitudes, logrando exitosamente recubrimientos en cojinetes simulados de 4, 6 y 8 pulgadas. Para garantizar la calidad del recubrimiento es indispensable una preparación adecuada de los cojinetes, se debe realizar un proceso de estañado, ya que una preparación limitada, como solo granallado, puede generar fallas en la adherencia del material. Además, el espesor del recubrimiento debe ser sobredimensionado para dar la medida final mediante mecanizado y asegurar un resultado adecuado en su puesta en funcionamiento.

Los procedimientos tradicionales de mantenimiento de cojinetes suelen ser complejos y demandan mayor personal, recursos, materiales y equipos. En cambio, el proceso de recubrimiento con Babbitt realizado mediante esta máquina resulta relativamente sencillo, con bajos requerimientos técnicos y de materiales.

En cuanto al costo y viabilidad, se destaca que los resultados fueron obtenidos con un presupuesto relativamente bajo: el costo total de fabricación fue de \$1458,60. La máquina es

robusta, adaptable y representa una solución eficiente. Equipos similares tienen costos significativamente más altos, por lo que esta propuesta ofrece un margen de mejora notable y presenta una ventaja competitiva para su aplicación industrial. Este proyecto proporciona una solución funcional y viable a una necesidad técnica, entregando resultados de buena calidad.

TRABAJO FUTURO

Con el proyecto concluido y tras reflexionar sobre los resultados obtenidos, si bien se pudo comprobar que la construcción de este tipo de máquinas es posible, se considera que hay varios parámetros a tener en cuenta para trabajos futuros que podrían mejorar tanto el rendimiento de la máquina como los resultados obtenidos.

En primer lugar, el tema de las vibraciones afecta de manera considerable el desempeño del sistema y también la calidad del recubrimiento. Por esta razón, se debería desarrollar un mecanismo que permita contrarrestar el efecto del peso del mandril. Entre las posibles soluciones se propone la implementación de un apoyo que sostenga el mandril y a la vez le permita girar libremente. Otra opción sería colocar un contrapeso en el mismo eje de peso similar al mandril, en el otro extremo del eje para contrarrestar la vibración. Otra opción viable sería aumentar el diámetro del eje que sostiene el mandril para evitar que este se flexione y así reducir la vibración. Se recomienda especialmente esta última alternativa, ya que permite conservar completamente el sistema de sujeción del cojinete, a diferencia de la propuesta del apoyo y el contrapeso, la cual requeriría modificar el prototipo actual con las placas soldadas, debido a que estas rozarían con el nuevo elemento.

Por otro lado, una gran parte de estas vibraciones también se origina por el desalineamiento de la muestra sobre el mandril. Para corregir esto, se plantea como solución el uso de un mandril auto-centrante.

Finalmente, para la comprobación y validación de los resultados obtenidos, se recomienda realizar una prueba de espesor y porosidad por medio de ultrasonido. Este tipo de pruebas permite obtener una visión interna del recubrimiento. En este caso, no se pudo llevar a cabo debido a la falta de personal calificado en la universidad para su ejecución.

REFERENCIAS

- Altamirano et al. (2024). *Generador de Calor por Cavitación*. (Proyecto de titulación de pregrado, Universidad San Francisco de Quito).
- Aranda, C., & Wiesner, I. (2010). *Construcción y Puesta en Marcha de Centrifugadora Vertical de Metales*. Escuela Superior Politécnica del Litoral. Obtenido de <http://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/11917>
- ASTM. (2016). *Standard Test Method for Rockwell Hardness of Metallic Materials*. American Society of Testing and Materials. doi:10.1520/E0018-22
- ASTM. (2019). *Standard Practice for Safety Requirements in Metal Casting Operations: Sand Preparation, Molding, and Core Making; Melting and Pouring; and Cleaning and Finishing*. American Society for Testing and Materials. doi: 10.1520/E2349-19
- ASTM. (2020). *Standard Specification for White Metal Bearing Alloys (Known Commercially as "Babbitt Metal")*. American Society for Testing and Materials. doi:10.1520/B0023-20
- Babu, M., & Krishna, A. R. (2015). Review of Journal Bearing Materials and Current Trends. *American Journal of Materials Science and Technology*. doi:<http://dx.doi.org/10.7726/ajmst.2015.1006>
- Baliga, B. J. (2015). Chapter 10 - IGBT Applications: Industrial. En B. J. Baliga, *The IGBT Device*. William Andrew. doi:<https://doi.org/10.1016/B978-1-4557-3143-5.00010-9>
- Barrágan, L. A., & Zaldivar, D. A. (2023). Automatización de procesos en la industria 4.0. *Innovación y Aplicaciones Técnico - Tecnológicas*.
- Benedik, B., Rihtarsic, J., Povh, J., & Tavcar, J. (2021). Failure mode and life prediction model for high-speed bearings in a through-flow universal motor. *Engineering Failure Analysis*, 128. doi:<https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2021.105535>
- Broitman, E. (2022). Coatings to Improve Bearing Performance.
- Comas, G. (2011). *Componentes mecánicos, neumáticos e hidráulicos*. Obtenido de Interempresas: https://www.interempresas.net/Componentes_Mecanicos/Articulos/46726-Cojinetes-de-metal-antifriccion.html
- Deutsches Institut für Normung. (03 de 2013). *Dimensiones Chaveteros y Chavetas*. Obtenido de Deutsches Institut für Normung.
- Dobson, R. (1988). Vertical Centrifugal Casting. En A. International, *ASM Handbook 15: Casting*. ASM International.
- Dong, Q., Yin, Z., Li, H., Gao, G., & Mao, Y. (2020). Simulation Study on Filling and Solidification of Horizontal Centrifugal Casting Babbitt Lining of Bimetallic Bearing. *International Journal of Metalcasting*, 15(1). doi:<http://dx.doi.org/10.1007/s40962-020-00429-y>
- Ebhota, W., Karun, A., & Inambao, F. (2016). Centrifugal casting technique baseline knowledge, applications, and processing parameters: overview. *International Journal of Materials Research*. doi:<http://dx.doi.org/10.3139/146.111423>
- EuroPe. (s.f.). *Ficha técnica Acero ASTM A-36*. Obtenido de <https://europer.cl/wp-content/uploads/2021/10/INFORMACION-TECNICA-ASTM-A-36.pdf>
- Fegade, V., Shrivastava, R., & Shrivastava, K. (2020). Feasibility analysis of design for remanufacturing in bearing using hybrid fuzzy-topsis and taguchi optimization. *Independent Journal of Management & Production*. doi:<http://dx.doi.org/10.14807/ijmp.v11i1.942>

- Geovanny, Á., Aldas, D., Lascano, N., & Ayala, M. (2024). La sostenibilidad ambiental en la industria manufacturera del Ecuador. Un estudio desde las fuentes energéticas. *Revista Ciencia UNEMI*.
- Goodway, M. (1988). History of Casting. En A. International, *ASM Handbook 15: Casting*. ASM International.
- Gordon, I. (1975). *The Efficient Use of Energy*. IPC Science and Technology Press.
- Hernández, A., Potekhin, B., Castellano, L., & Khristolyubov, A. (2011). *Propiedades especiales del babbit b-83, obtenido por el método de fundición turbulento*.
- Hernández, U. O., Pérez, Y. E., Pérez, J. A., & Porrua, A. R. (2022). Babbit AVE-F1 cubano para la recuperación de chumaceras en las turbinas de las centrales termoeléctricas.
- ISO. (2013). *Bolts, screws and studs with specified property classes - Corase thread and fine pitch thread*. International Organization for Standarization.
- ISO. (2016). *Petroleum, petrochemical and natural gas industries - Collection and exchange of reliability and maintenance data for equipment*. International Organization for Standarization.
- ISO. (2022). *Mechanical vibration - Measurement and evaluation of machine vibration*. International Organization for Standarization.
- Jacas, M., & Cardentey, J. C. (2019). *Maquinado de chumaceras de material babbitt*.
- Kačinskas, T., Baskutis, S., Baskutienė, J., & Kavaliauskienė, L. (2024). Investigation of the Properties of Anti-Friction Coatings Desposited with Different Casting Methods. *Materials*.
- Kapp Alloy & Wire Inc. (2024). *ASTM-B23 Grade 1 Tin Babbitt*. Pennsylvania: Kapp Alloy & Wire.
- Li, C., & McKee, K. (2001). Bearing Diagnostics. En S. Braun, *Encyclopedia of Vibration* (pág. 150). doi:<https://doi.org/10.1006/rwvb.2001.0200>
- Li, T., Nassar, S. A., & El-Zein, M. (2020). Novel model for mean stress effect on high-cycle fatigue performance of threaded fasteners. *Journal of Advanced Joining Process*. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jajp.2020.100004>
- Luo, W., Lin, D., Xi, X., Wang, Y., Liu, Y., Liu, D., . . . Song, X. (2024). High-strength and wear-resistant Babbitt alloy coatings prepared through in-situ alloying. *Surface & Coatings Technology*, 494.
- McKie, M. (2015). *Research and Development of Sustainable Technology Improvement Model for the Foundry Industry*. doi:<http://dx.doi.org/10.13140/RG.2.2.23201.25443>
- Ormeño, V., Espinoza, L., Palacios, C., Barreda, V., & Echegaray, O. (2011). *El gas natural y sus diferencias con el GLP*. Osingermin.
- Peng, F., Zheng, L., Peng, Y., Fang, C., & Meng, X. (2022). Digital Twins for rolling bearings: A review of current simulations and PHM techniques. *Measurement*, 201.
- Polanco, C., & Peña, J. (2016). *Ensayo de Fatiga en Flexión Rotativa del ACERO AISI-SAE 1018 por el Método de Esfuerzo-Vida*. Escuela Superior Politécnica del Litoral. doi:https://www.researchgate.net/publication/268178155_Ensayo_de_Fatiga_en_Flexion_Rotativa_del_Acero_AISI-SAE_1018_por_el_Metodo_Esfuerzo-Vida
- Ramadan, M., Alghamdi, A. S., Subhani, T., & Halim, K. A. (2020). Fabrication and Characterization of Sn-Based Babbitt Alloy Nanocomposite Reinforced with Al₂O₃ Nanoparticles/Carbon Steel Bimetallic Material. *Material*, 13(12). doi:<https://doi.org/10.3390/ma13122759>
- Romeva, C. R. (2002). *Diseño Concurrente*. Edicions UPC.
- Royer, A., & Vasseur, S. (1988). Horizontal Centrifugal Casting. *ASM Handbook Volume 15: Casting*.

- Saleh, B., Jiang, J., Fathi, R., Al-hababi, T., Xu, Q., Wang, L., . . . Ma, A. (2020). *30 years of functionally graded material: An overview of manufacturing methods, Applications and Future Challenges* (Vol. 201).
- Schuiemaker, R., & Xu, X. (2020). Product traceability in manufacturing: A technical review. *Procedia CIRP*, 93. doi:<https://doi.org/10.1016/j.procir.2020.04.078>
- Serviaceros. (s.f.). *AISI 1018*. Obtenido de <https://serviacero.com/wp-content/uploads/2024/03/AISI-1018.pdf>
- Shaanxi World Iron & Steel Co. (2020). Obtenido de <http://es.worldironsteel.com/news/what-s-babbitt-metal-33158392.html>
- Soori, M., Arezoo, B., & Dastres, R. (2023). Internet of Things and Cyber-Physical Systems.
- Stolarski, T. A. (1990). Sliding elements bearings. En *Tribology in Machine Design*. Butterworth-Heinemann. doi:<https://doi.org/10.1016/B978-0-08-051967-8.50008-6>
- Zeid, A., Sundaram, S., Maoghaddam, M., Kamarthi, S., & Marion, T. (2019). Interoperability in Smart Manufacturing. *Smart Manufacturing, Digital Supply Chains and Industry 4.0*, 7(2). doi:<https://doi.org/10.3390/machines7020021>

ANEXO A: EVALUACIÓN PONDERADA DE LAS ALTERNATIVAS

A continuación se adjunta las tablas usadas para alternativas analizadas del diseño.

Evaluación de alternativas para el sistema de rotación

- Evaluación del peso específico de cada criterio para el subsistema de rotación

Estabilidad = Transmisión > Facilidad de implementación > Mantenimiento

CRITERIO	Estabilidad	Transmisión	Facilidad de implementación	Mantenimiento	Suma+1	Ponderado del Criterio
Estabilidad		0.5	1	1	3.5	0.35
Transmisión	0.5		1	1	3.5	0.35
Facilidad de implementación	0	0		1	2	0.20
Mantenimiento	0	0	0		1	0.10
					10	1

- Evaluación del peso específico del criterio 1: Estabilidad

CRITERIO	Caja reductora	Bandas	Conexión directa	Suma+1	Ponderado de la Calificación
Caja reductora		1	0.5	2.5	0.42
Bandas	0		1	2	0.33
Conexión directa	0.5	0		1.5	0.25
				6	1

- Evaluación del peso específico del criterio 2: Transmisión

CRITERIO	Caja reductora	Bandas	Conexión directa	Suma+1	Ponderado de la Calificación
Caja reductora		0.5	0.5	2	0.33
Bandas	0.5		1	2.5	0.42
Conexión directa	0.5	0		1.5	0.25
				6	1

- Evaluación del peso específico del criterio 3: Facilidad de implementación

CRITERIO	Caja reductora	Bandas	Conexión directa	Suma+1	Ponderado de la Calificación
Caja reductora		0	1	2	0.33
Bandas	1		0	2	0.33
Conexión directa	0	1		2	0.33
				6	1

- Evaluación del peso específico del criterio 4: Mantenimiento

CRITERIO	Caja reductora	Bandas	Conexión directa	Suma+1	Ponderado de la Calificación
Caja reductora		0	0	1	0.17
Bandas	1		0.5	2.5	0.42
Conexión directa	1	0.5		2.5	0.42
				6	1

Evaluación de alternativas para el sistema de sujeción

- Evaluación del peso específico de cada criterio para el subsistema de sujeción

$$\text{Fiabilidad} = \text{Simplicidad} > \text{Peso} = \text{Precio}$$

CRITERIO	Fiabilidad	Simplicidad	Peso	Precio	Suma+1	Ponderado del Criterio
Fiabilidad		0.5	1	1	3.5	0.35
Simplicidad	0.5		1	1	3.5	0.35
Peso	0	0		0.5	1.5	0.15
Precio	0	0	0.5		1.5	0.15
					10	1

- Evaluación del peso específico del criterio 1: Fiabilidad

CRITERIO	Mandril	Abrazadera	Diseño propio	Suma+1	Ponderado de la Calificación
Mandril		1	1	3	0.43
Abrazadera	0		1	2	0.29
Diseño propio	0	1		2	0.29
				7	1

- Evaluación del peso específico del criterio 2: Simplicidad

CRITERIO	Mandril	Abrazadera	Diseño propio	Suma+1	Ponderado de la Calificación
Mandril		1	1	3	0.50
Abrazadera	0		1	2	0.33
Diseño propio	0	0		1	0.17
				6	1

- Evaluación del peso específico del criterio 3: Peso

CRITERIO	Mandril	Abrazadera	Diseño propio	Suma+1	Ponderado de la Calificación
Mandril		0	0	1	0.17
Abrazadera	1		1	3	0.50
Diseño propio	1	0		2	0.33
				6	1

- Evaluación del peso específico del criterio 4: Precio

CRITERIO	Mandril	Abrazadera	Diseño propio	Suma+1	Ponderado de la Calificación
Mandril		0	0.5	1.5	0.25
Abrazadera	1		1	3	0.50
Diseño propio	0.5	0		1.5	0.25
				6	1

Evaluación de alternativas para el sistema de calentamiento

- Evaluación del peso específico de cada criterio para el subsistema de calentamiento

Interoperabilidad = Eficiencia térmica > Seguridad = Costos

CRITERIO	Interoperabilidad	Eficiencia térmica	Seguridad	Costos	Suma+1	Ponderado del Criterio
Interoperabilidad		0.5	1	1	3.5	0.35
Eficiencia térmica	0.5		1	1	3.5	0.35
Seguridad	0	0		0.5	1.5	0.15
Costos	0	0	0.5		1.5	0.15
					10	1

- Evaluación del peso específico del criterio 1: Interoperabilidad

CRITERIO	Gas GLP	Inducción magnética	Resistencias eléctricas	Suma+1	Ponderado de la Calificación
Gas GLP		1	1	3	0.60
Inducción magnética	0		0,5	1	0.20
Resistencias eléctricas	0	0,5		1	0.20
				5	1

- Evaluación del peso específico del criterio 2: Eficiencia térmica

CRITERIO	Gas GLP	Inducción magnética	Resistencias eléctricas	Suma+1	Ponderado de la Calificación
Gas GLP		0	0	1	0.20
Inducción magnética	1		1	3	0.60
Resistencias eléctricas	1	0		2	0.40
				6	1.2

- Evaluación del peso específico del criterio 3: Seguridad

CRITERIO	Gas GLP	Inducción magnética	Resistencias eléctricas	Suma+1	Ponderado de la Calificación
Gas GLP		0.5	0	1.5	0.30
Inducción magnética	0.5		0	1.5	0.30
Resistencias eléctricas	1	1		3	0.60
				6	1.2

- Evaluación del peso específico del criterio 4: Precio

CRITERIO	Gas GLP	Inducción magnética	Resistencias eléctricas	Suma+1	Ponderado de la Calificación
Gas GLP		1	1	3	0.60
Inducción magnética	0		0	1	0.20
Resistencias eléctricas	0	1		2	0.40
				6	1.2

ANEXO B: MANUAL DE OPERACIÓN



MANUAL DE OPERACIÓN DE LA MÁQUINA DE FUNDICIÓN CENTRÍFUGA DE BABBITT PARA COJINETES DE LUBRICACIÓN

TABLA DE CONTENIDOS

INTRODUCCIÓN	173
LISTADO DE PARTES	173
PROCESO DE ENSAMBLAJE DE LA MÁQUINA	186
Ensamblajes previos	187
ESPECIFICACIONES TÉCNICAS	195
OPERACIÓN DE LA MÁQUINA.....	201
USO DE LA MÁQUINA	205

INTRODUCCIÓN

El presente manual ha sido desarrollado con el objetivo de proporcionar una guía integral para la operación segura, eficiente y técnicamente adecuada de la máquina de fundición centrífuga para recubrimiento de cojinetes con aleación Babbitt. Este equipo fue diseñado con el propósito de demostrar la viabilidad del recubrimiento interno de cojinetes mediante procesos de fundición centrífuga.

La máquina está orientada a usuarios con experiencia técnica en procesos de fundición, debido a los riesgos inherentes al manejo de metales fundidos y componentes rotativos. Su diseño busca ser una herramienta útil en contextos académicos, de investigación o industriales.

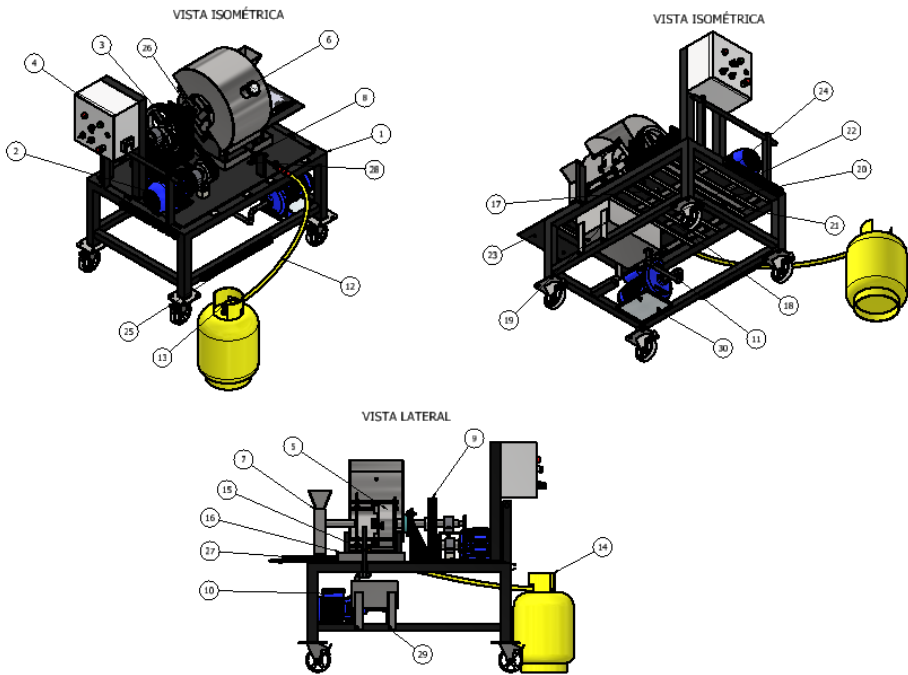
Este manual ofrece una referencia estructurada que cubre aspectos esenciales como las especificaciones técnicas, la instalación del equipo, el proceso operativo, las medidas de seguridad, el mantenimiento preventivo y las recomendaciones generales de uso.

LISTADO DE PARTES

- **Lista de componentes**

A continuación, se indicarán las partes principales de la máquina para fundición centrífuga de babbitt para cojinetes de lubricación. Posteriormente, se presentará cada componente de dicho subensamble.

Manual de operación tabla #1. Lista de componentes Ensamble General

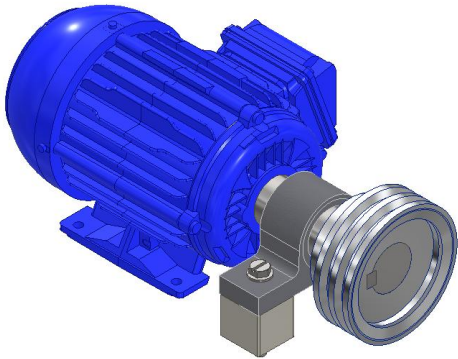
Ensamble General			
			
Ítem	Componente	Cantidad	Plano
1	Ensamble del bastidor	1	2025-FC-M1.1
2	Ensamble del motor-eje-polea	1	2025-FC-E1.1
3	Ensamble del variador de velocidades	1	2025-FC-V1.1
4	Caja de control	1	-
5	Ensamble del sistema de sujeción	1	2025-FC-S1.1
6	Ensamble de la cubierta de seguridad	1	2025-FC-T1.1
7	Ensamble del colador	1	2025-FC-C1.1
8	Ensamble de la antorcha	1	2025-FC-A1.1
9	Banda V tipo A	2	-
10	Bomba centrífuga	1	-
11	Sistema de tuberías	1	-

12	Manguera para GLP	1	-
13	Regulador de GLP Industrial	1	-
14	Cilindro de GLP Industrial	1	-
15	Boquilla de manguera	1	-
16	Deflector de salpicaduras	1	2025-FC-D1.1
17	Perno M8x20	8	-
18	Perno M4x10	8	-
19	Ensamble del tanque de agua	1	2025-FC-H1.1
20	Tuerca M8x1.25	10	-
21	Tuerca M12x1.75	2	-
22	Tuerca M4x0.7	10	-
23	Tuerca M6x1	2	-
24	Canaleta plástica de 44 cm	1	-
25	Canaleta plástica de 53 cm	1	-
26	Perno M8x25	3	-
27	Perno M4x14	2	-
28	Perno M8x16	2	-
29	Tornillo autorroscante 3/8"x7/8"	3	-
30	Perno M8x35	2	-

Manual de operación tabla #2. Lista de componentes del Ensamble del bastidor

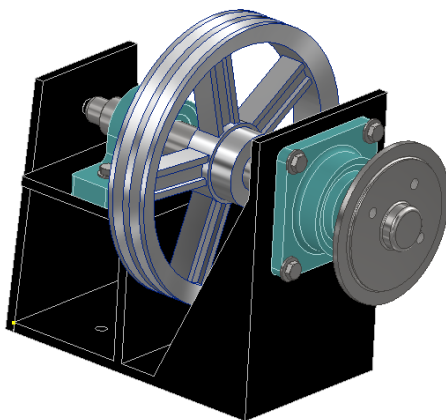
Ensamble del bastidor			
			
Componente	Cantidad	Material	Plano
Mesa	1	Acero estructural	2025-FC-M1.2
Chapa superior	1	Acero A-36	2025-FC-M1.3
Chapa superior para el colador	1	Acero A-36	2025-FC-M1.4
Platina de 10.50 cm de largo	2	Acero A-36	-
Platina de 7.50 cm de largo	4	Acero A-36	-
Tope mecánico	1	Acero estructural	-
Soporte para la caja de control	1	Acero estructural	-
Ruedas	4	-	-

Manual de operación tabla #3. Lista de componentes del ensamble del motor-eje-polea

Ensamble del motor-eje-polea			
			
Componente	Cantidad	Material	Plano
Motor 3 hp	1	-	-
Eje-motor-polea motriz	1	Acero AISI 1018	2025-FC-E1.2
Polea motriz	1	Aluminio	2025-FC-E1.3
Chaveta eje-polea motriz	1	Acero al carbono	-
Chumacera radial	1	-	-
Bloque de elevación	2	Acero al carbono	-
Perno M12x90	2	Acero al carbono	-
Arandela M12	2	Acero al carbono	-

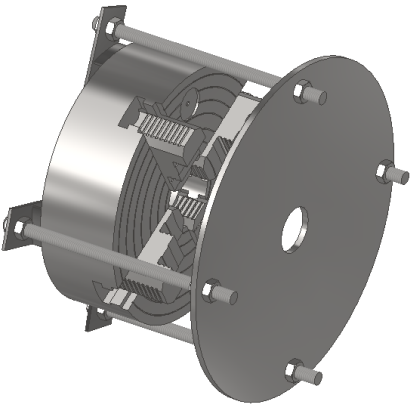
Manual de operación tabla #4. Lista de componentes del Ensamble del variador de velocidades

Ensamble del variador de velocidades



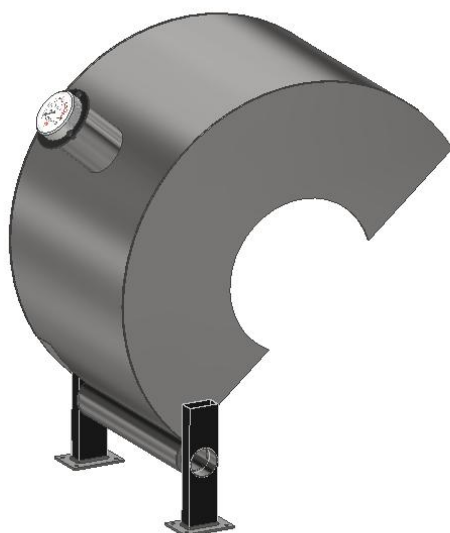
Componente	Cantidad	Material	Plano
Armadura	1	Acero negro	2025-FC-V1.2
Eje polea conducida-mandrill	1	Acero AISI 1018	2025-FC-V1.3
Polea conducida	1	Aluminio	2025-FC-V1.4
Chaveta eje-polea conducida	1	Acero al carbono	-
Chumacera radial	1	-	-
Chumacera axial	1	-	-
Perno M10x45	6	Acero al carbono	-
Tuerca M10x1.5	6	Acero al carbono	-
Arandela M10	2	Acero al carbono	-
Arandela M12	4	Acero al carbono	-

Manual de operación tabla #5. Lista de componentes del Ensamble del sistema sujeción

Ensamble del sistema de sujeción			
			
Componente	Cantidad	Material	Plano
Mandril	1	Acero al carbono	-
Plancha de sujeción	1	Acero inoxidable AISI 430	2025-FC-S1.2
Soporte de la barra roscada	4	Acero inoxidable AISI 430	2025-FC-S1.3
Tope para el soporte	4	Acero inoxidable	-
Barra roscada	4	Acero al carbono	-
Tuerca 1/2" UNF	16	Acero al carbono	-

Manual de operación tabla #6. Lista de componentes del Ensamble de la cubierta de seguridad

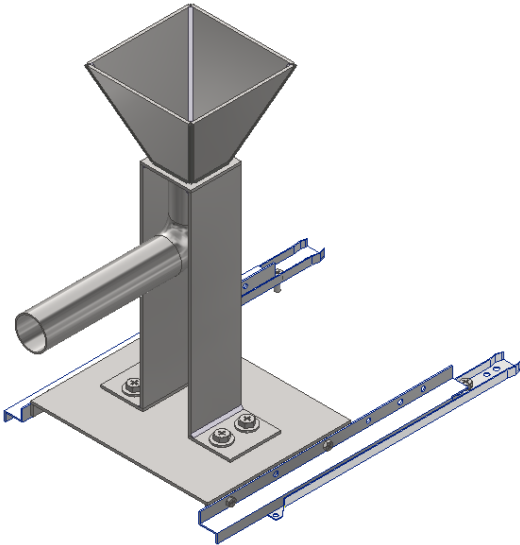
Ensamble de la cubierta de seguridad



Componente	Cantidad	Material	Plano
Tapa lateral de la cubierta	2	Acero inoxidable AISI 430	2025-FC-T1.2
Cubierta	1	Acero inoxidable AISI 430	2025-FC-T1.3
Termómetro	1	Acero al carbono	-
Tubo eje	1	Acero inoxidable AISI 304	-
Tubo soporte	1	Acero inoxidable AISI 304	2025-FC-T1.4
Perfil soporte del eje	2	Acero estructural	2025-FC-T1.5
Base para el soporte del eje	2	Acero A-36	2025-FC-T1.6

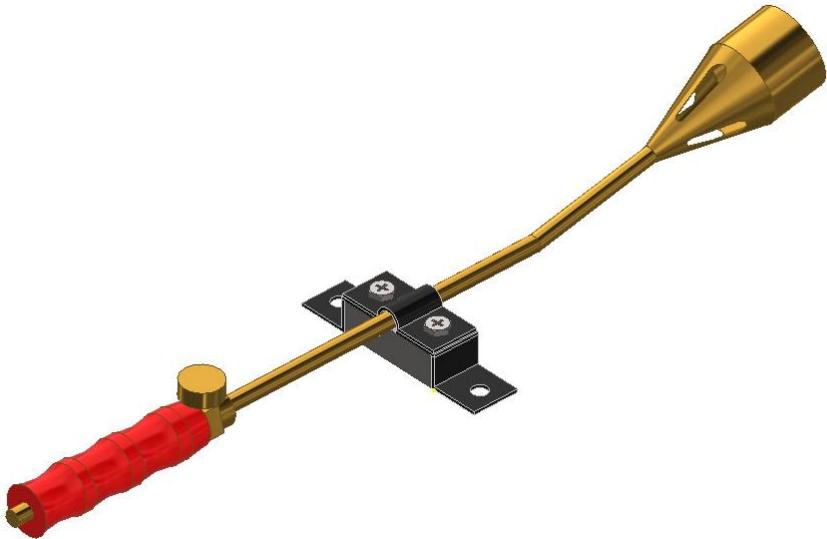
Tubo para el termómetro	1	Acero Inoxidable AISI 430	-
Chapa de soporte para el termómetro	1	Acero Inoxidable AISI 430	2025-FC-T1.7
Perno M4x8	3	Acero al carbono	-
Arandela M4x0.7	3	Acero al carbono	-

Manual de operación tabla #7. Lista de componentes del Ensamble del colador

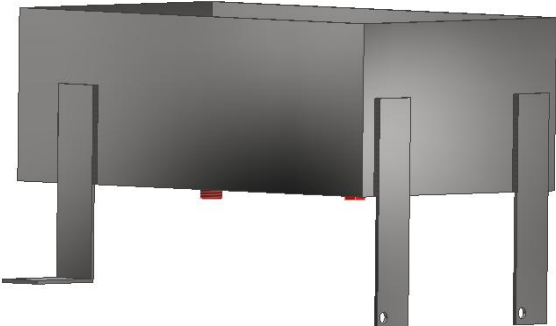
Ensamble del colador			
			
Componente	Cantidad	Material	Plano
Tubo para la colada	1	Acero inoxidable AISI 304	2025-FC-C1.2
Base del colador	1	Acero inoxidable AISI 430	2025-FC-C1.3
Chapa lateral de la base del colador	2	Acero inoxidable AISI 304	2025-FC-C1.4
Chapa para el colador	4	Acero inoxidable AISI 304	2025-FC-C1.5
Columna del colador	2	Acero inoxidable AISI 304	2025-FC-C1.6
Soporte para el colador	2	Acero inoxidable AISI 304	2025-FC-C1.7

Soporte para el tubo de colada	1	Acero inoxidable AISI 304	2025-FC-C1.8
Base del riel	2	Aluminio	-
Riel	2	Aluminio	-
Perno M8x25	4	Acero al carbono	-
Arandela M10	4	Acero al carbono	-
Tuerca M10x1.5	4	Acero al carbono	-
Perno M5x12	2	Acero al carbono	-
Tuerca M5x0.8	2	Acero al carbono	-
Perno M6x14	2	Acero al carbono	-
Arandela M6	2	Acero al carbono	-

Manual de operación tabla #8. Lista de componentes del Ensamble de la antorcha

Ensamble de la antorcha			
			
Componente	Cantidad	Material	Plano
Antorcha	1	Latón	-
Bloque de elevación	1	Acero al carbono	-
Chapa de fijación	2	Acero A-36	2025-FC-A1.2
Abrazadera para la antorcha	1	Acero A-36	2025-FC-A1.3
Perno M8x14	2	Acero al carbono	-

Manual de operación tabla #9. Lista de componentes del Ensamble del tanque de agua

Ensamble del tanque de agua			
			
Componente	Cantidad	Material	Plano
Tanque de agua	1	Acero A-36	2025-FC-H1.2
Soporte para el tanque de agua	2	Acero A-36	2025-FC-H1.3
Soporte doblado para el tanque de agua	1	Acero A-36	2025-FC-H1.4
Adaptador para el tanque de 1"	1	Polipropileno	-
Tapón macho de 1/2"	1	Polipropileno	-
Tapón hembra de 1/2"	1	Polipropileno	-

EQUIPOS Y HERRAMIENTAS

Las herramientas y equipos requeridos para la construcción son los siguientes:

- **Herramientas:**
 - Kit de llaves inglesas
 - Amoladora
 - Taladrado de mano
 - Nivelador
 - Lija
- **Equipos:**
 - Soldadura MIG
 - Soldadura TIG
 - Corte láser
 - Torno
 - Esmeril
- **Equipo de protección personal (EPP):**
 - Guantes
 - Gafas
 - Protección auditiva
 - Mandil y calzado de trabajo

PROCESO DE ENSAMBLAJE DE LA MÁQUINA

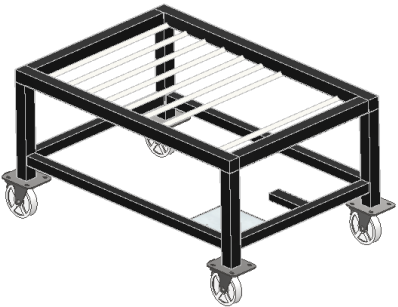
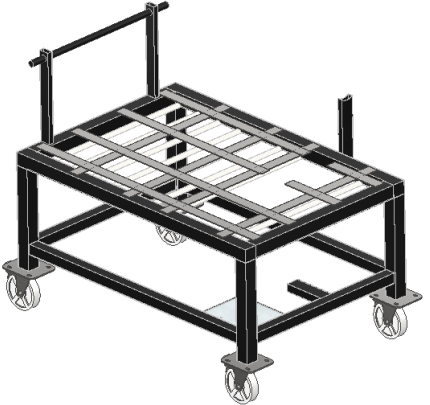
El proceso de ensamblaje de la máquina de función centrífuga se realiza por etapas, iniciando con la estructura base y terminando con la conexión del cilindro de GLP. A continuación, se detalla el procedimiento secuencial.

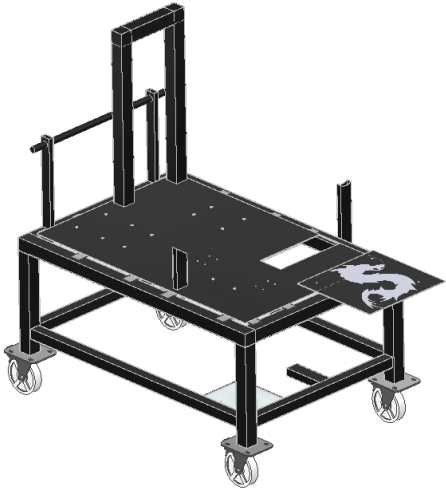
En primera instancia previo al ensamble general es necesario realizar de manera independiente los siguientes subensambles.

Ensamblajes previos

1.1. Ensamble del bastidor

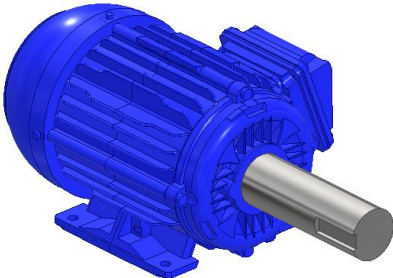
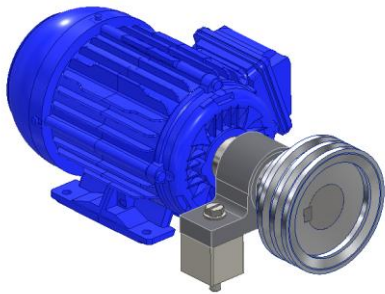
Manual de operación tabla #10. Proceso de Ensamble del bastidor

1. Soldar mediante MIG los perfiles cuadrados. 2. Soldar la estructura de soporte para la bomba centrífuga y colocar la madera sobre la cual se apoya la bomba. 3. Soldar las ruedas.	
4. Cortar las platinas de 3 mm con amoladora para obtener las dimensiones de 10.50 cm y 7.50 cm requeridas. 5. Agregar y soldar los perfiles para formar la estructura de empuje. 6. Soldar con MIG el tope mecánico para la cubierta.	

7. Cortar con plasma las chapas de 3 mm y colocarlas sobre la estructura. Soldarlas con MIG sobre el bastidor. 8. Una vez soldadas las chapas agregar y soldar la estructura de soporte para la caja de control y el otro tope mecánico para la cubierta.	
--	--

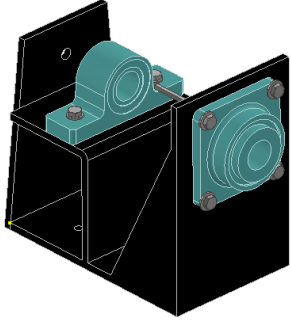
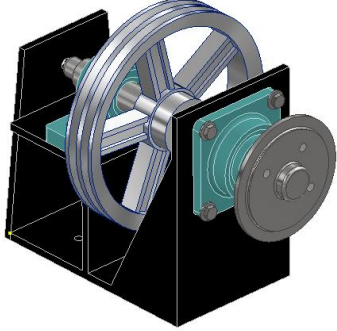
1.2. Ensamble del motor-eje-polea motriz

Manual de operación tabla #11. Proceso de Ensamble del motor-eje-polea motriz

1. Maquinar con abrochadora y torno la polea para poderla insertar en el motor. 2. Insertar la polea maquinada en el motor	
3. Insertar la chumacera radial en el eje y empernar en su inferior los bloques de elevación. 4. Ajustar con llave inglesa la junta. 5. Empernar ambos elementos 6. Insertar la polea motriz maquinada y conducida.	

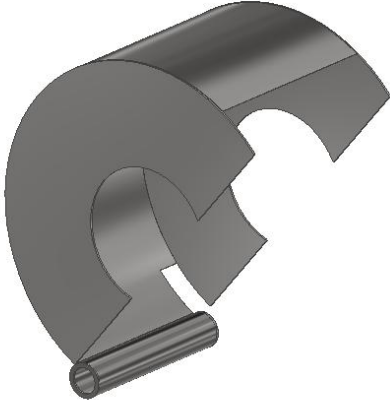
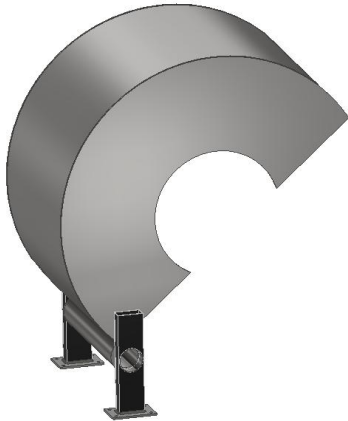
1.3. Ensamble del variador de velocidades

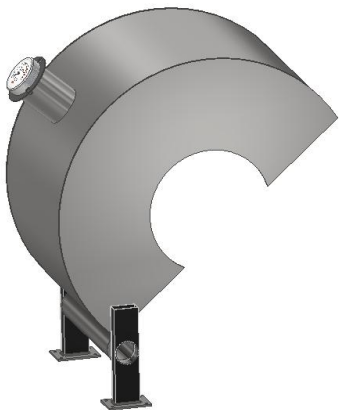
Manual de operación tabla #12. Proceso de Ensamble del variador de velocidades

1. Sobre la armadura instalar tanto la chumacera axial como la chumacera radial. 2. Ajustar las juntas empernadas utilizando una llave inglesa	 Este diagrama ilustra la etapa de instalación de las chumaceras en la armadura. Se muestra una estructura metálica negra que representa la armadura. En su interior, se han instalado dos componentes de color verde: una chumacera axial y una chumacera radial. Ambas están sujetas a la estructura mediante tornillos.
3. Insertar el eje dentro de la armadura considerando que la polea debe entrar de manera simultánea. 4. Insertar la chaveta entre el eje y la polea conducida y ajustarla con prisioneros.	 Este diagrama muestra la siguiente etapa del ensamblaje. El eje, representado en gris, ha sido insertado en la armadura. Una polea de color verde, que forma parte del eje, está ahora montada en la estructura. Se puede ver la chumacera radial y axial que sostienen el eje. El diagrama también muestra una parte circular gris que parece ser una polea o un volante.

1.4. Ensamble de la cubierta de seguridad

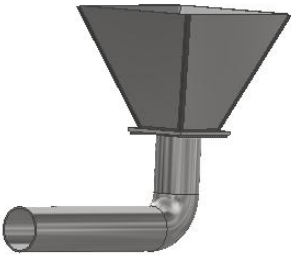
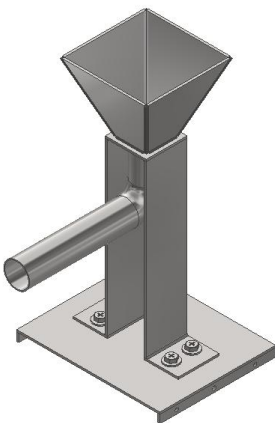
Manual de operación tabla #13. Proceso de Ensamble de la cubierta de seguridad

1. Cortar con plasma la cubierta y las tapas laterales. Posteriormente rolar la cubierta como indica el plano. 2. Soldar mediante TIG tanto las chapas como el tubo de soporte.	
3. Insertar en el tubo de soporte el tubo eje. 4. Realizar los agujeros correspondientes en los perfiles cuadrados usando un taladro y broca adecuada. 5. Soldar con MIG la base de soporte para los perfiles cuadrados.	

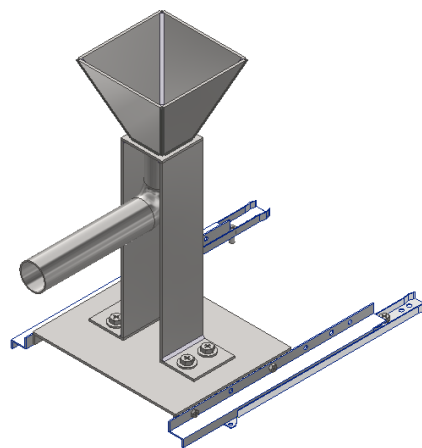
6. Instalar en la cubierta un soporte para el termómetro soldado mediante TIG. 7. Insertar el termómetro y empernarlo a la superficie.	
---	--

1.5. Ensamble del colador

Manual de operación tabla #14. Proceso de Ensamble del colador

1. Soldar mediante TIG las 4 chapas del colador. 2. Soldar en las chapas del colador el soporte para el tubo de colada. 3. Soldar el tubo de colada.	
4. Soldar con TIG las 2 columnas del colador. 5. Soldar los soportes para el colador. 6. Mediante pernos M10 unir el colador con su base. 7. Soldar los lados de la base.	

8. Mediante pernos M5 unir los rieles con el colador ya ensamblado

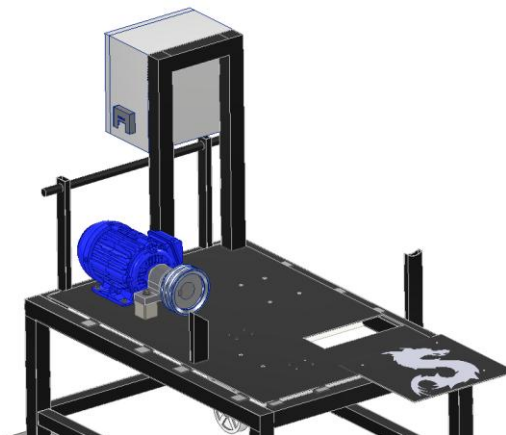


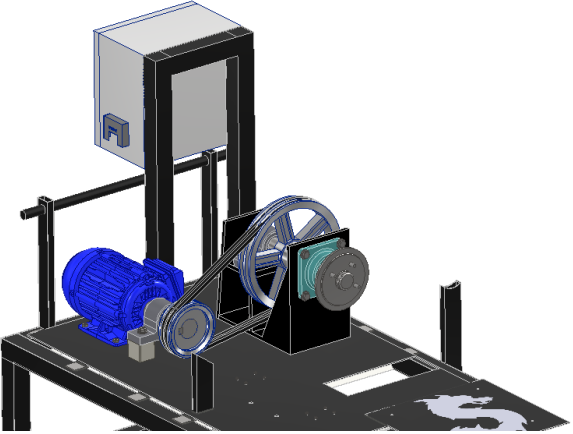
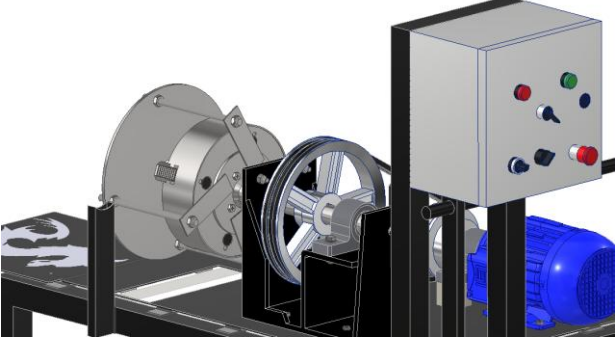
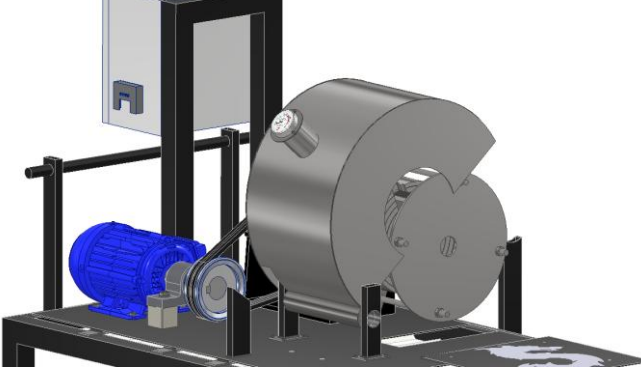
2. Ensamble general

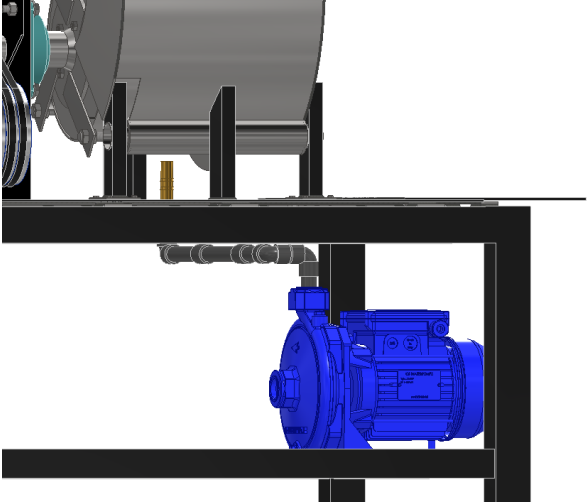
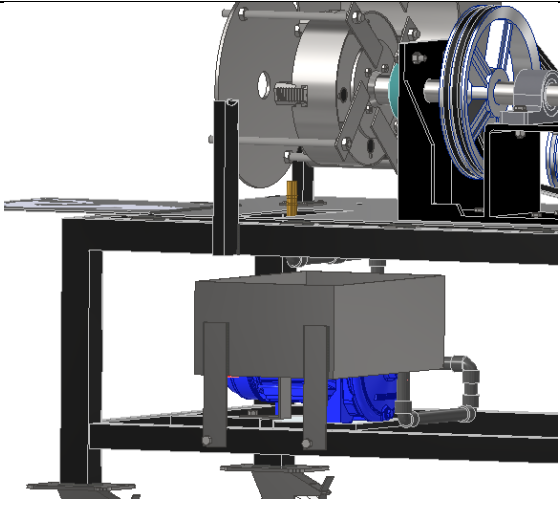
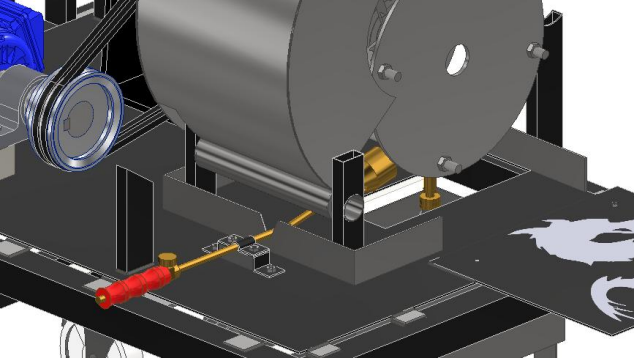
Una vez terminados los ensambles preliminares a continuación se describe el proceso de armado del ensamble general.

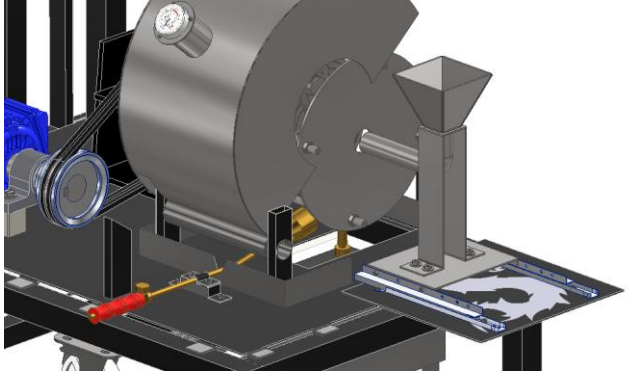
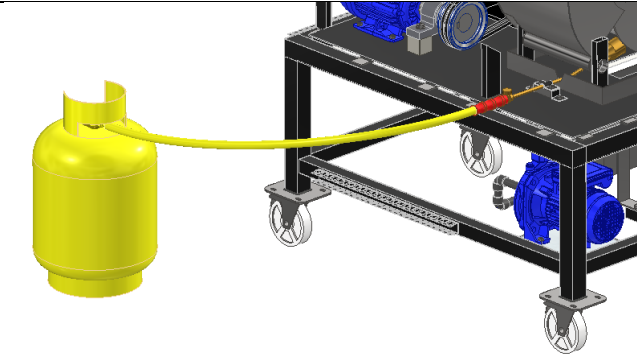
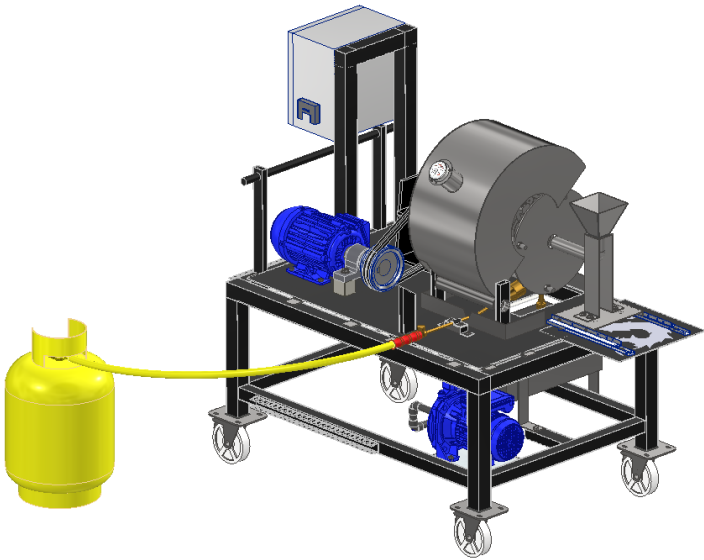
Manual de operación tabla #15. Proceso de Ensamble general

1. Empernar el motor ya ensamblado a la chapa de 3 mm previamente soldada.
2. Empernar la caja de control a su soporte.



3. Empernar el variador de velocidades a el bastidor. 4. Insertar las bandas V correspondientes. Asegurarse que estén bien tensadas	
5. Usar pernos de alto carbono para empernar el mandril al acople del variador de velocidades 6. Soldar los soportes de las barras roscadas 7. Montar el ensamble de sujeción (Colocar las tuercas, barras roscadas y la plancha).	
8. Montar en la chapa del bastidor el ensamble ya realizado de la cubierta. 9. Asegurarse que los topes mecánicos estén bien ubicados. En caso de que no, revisar los ensambles preliminares.	

10. En la parte inferior montar la bomba centrífuga. 11. Realizar el primer recorrido de tuberías y conectarlas a la boquilla de manguera. 12. Asegurarse que la boquilla no choque con el sistema de giro.	
13. Ensamblar en la parte inferior el tanque de agua. 14. Realizar el segundo recorrido de tuberías desde el tanque a la bomba centrífuga.	
15. Soldar sobre la chapa base del bastidor el deflector de salpicaduras. 16. Empernar sobre la mesa la placa de fijación. 17. Instalar la antorcha. Asegurarse que no choque con el sistema de giro.	

18. Sobre la chapa en voladizo, empernar el ensamble del colador previamente realizado.	
19. Instalar sobre la estructura las canaletas plásticas para los cables de la bomba centrífuga y el motor. 20. Conectar el cilindro GLP a la antorcha ya instalada.	
	

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

Se detallará las características técnicas de la máquina de fundición centrífuga para recubrimiento de cojinetes con aleación Babbitt. Esta información ayuda a comprender el funcionamiento del equipo, realizar la instalación respectiva, y asegurar una operación

adecuada conforme a los parámetros de diseño. Las especificaciones descritas incluyen aspectos mecánicos, eléctricos y funcionales del sistema para cada uno de los tres diámetros.

1. Dimensiones de cojinetes:

Manual de operación tabla #16. Dimensiones de Cojinetes permitidas

Parámetro	Especificación
Longitud máxima de cojinetes	100 mm
Diámetros internos de cojinetes (pulgadas)	4", 6", 8"
Diámetros internos de cojinetes (milímetros)	101.6 mm, 152.4 mm, 203.2 mm
Material de fijación interna antes de recubrir	Estaño



Manual de operación figura #1. Cojinetes de 4", 6" y 8"

2. Sistema de rotación:

Manual de operación tabla #17. Parámetros de sistema de rotación

Elemento	Especificación
Tipo de motor	Trifásico (220V AC/ 60 Hz)
Potencia del motor	3 HP
Control de velocidad	Variador de frecuencia
Diámetro de 4"	1069.9 rpm / 35.66 Hz
Diámetro de 6"	873.5 rpm / 29.12 Hz
Diámetro de 8"	765.5 rpm / 25.22 Hz



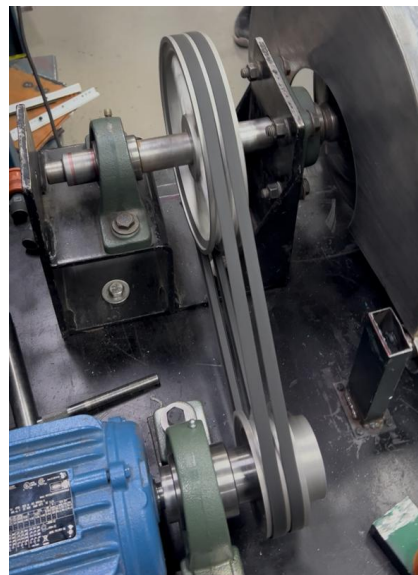
Manual de operación figura #2. Motor trifásico con sistema de poleas doble en V



Manual de operación figura #3. Variador de Frecuencia

3. Variador de velocidades:

- Sistema de transmisión por dos bandas V de tipo A.
- Relación de transmisión es 2:1

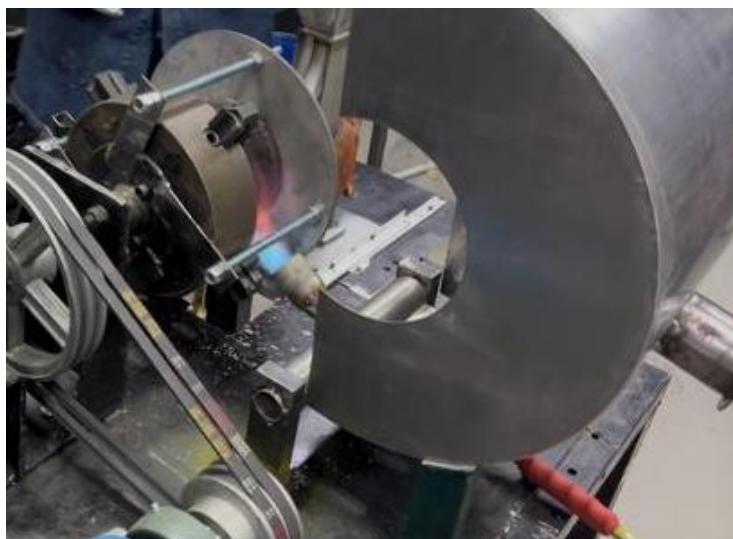


Manual de operación figura #4. Variador de velocidades de doble banda en V de tipo A

4. Sistema de colado y precalentamiento:

Manual de operación tabla #18. Parámetros de sistema de colado y precalentamiento

Elemento	Especificación
Aleación de metal (Babbitt)	ASTM-B23 #1 ($\pm 90\%$ Zinc, $\pm 5\%$ Cobre y Antimonio)
Temperatura de vertido	400°C - 450°C
Sistema de precalentamiento	Antorcha de gas industrial GLP
Tiempo de precalentamiento de cojinete 4"	1m44s
Tiempo de precalentamiento de cojinete 6"	2m36s
Tiempo de precalentamiento de cojinete 8"	3m28s



Manual de operación figura #5. Antorcha de precalentamiento

5. Sistema de enfriamiento:

- Sistema de enfriamiento mediante bomba de agua centrífuga (110V).
- Red de tuberías fijas instaladas en la parte inferior de la base de la máquina.
- El sistema genera un chorro de agua dirigido al exterior del cojinete, acelerando el enfriamiento posterior al vertido mediante un choque térmico para mejorar la adherencia.



Manual de operación figura #6. Bomba centrífuga de agua



Manual de operación figura #7. Sistema de enfriamiento

OPERACIÓN DE LA MÁQUINA

- **Preparación de máquina:**

1. Colocar la máquina en un lugar aislado para fácil manipulación.
2. Colocar el seguro de las ruedas ubicadas en la base de la mesa transportadora.

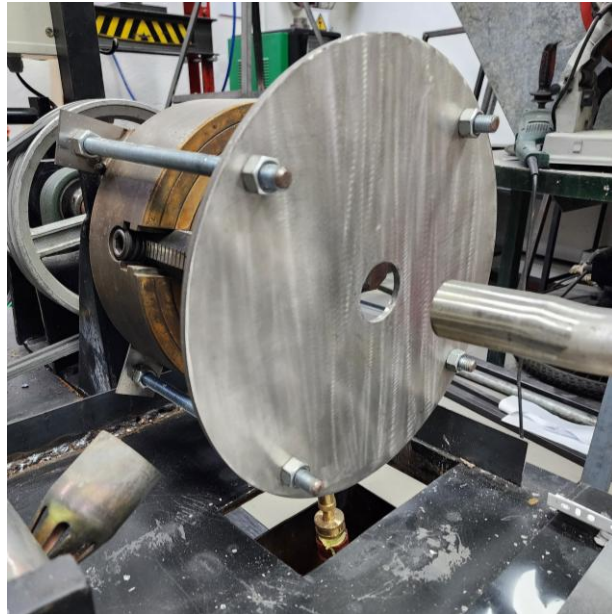


Manual de operación figura #8. Seguro de ruedas

3. Llenar el tanque de agua del sistema de enfriamiento (Figura 7).
4. Cerrar y conectar la válvula de gas de la antorcha de precalentamiento con el cilindro de gas industrial GLP.
5. Revisar que todos los sistemas de la máquina no estén obstruidos por ningún objeto.

- **Montaje de cojinetes:**

1. Desajustar tuercas M19 y proceder a retirar cubierta selladora frontal redonda para introducir el cojinete en el mandril.



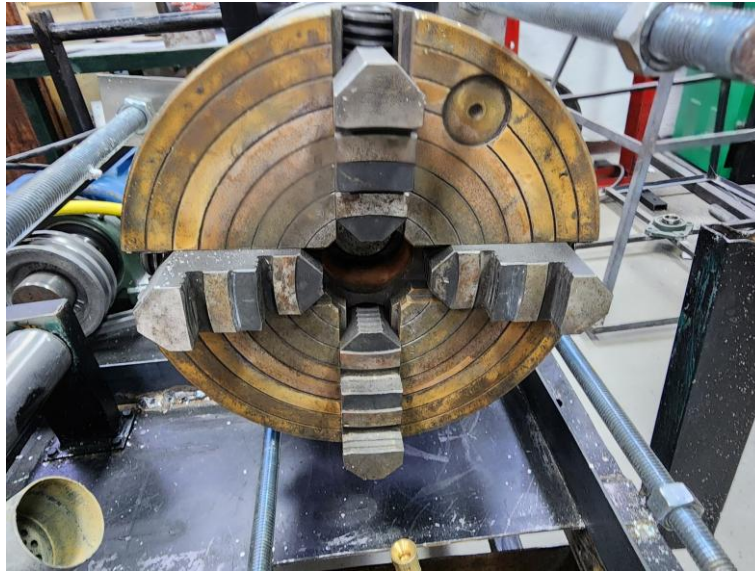
Manual de operación figura #9. Cubierta selladora frontal redonda

2. Colocar tapas protectoras de cojinete en el mandril para evitar fugas de babbitt durante el proceso.



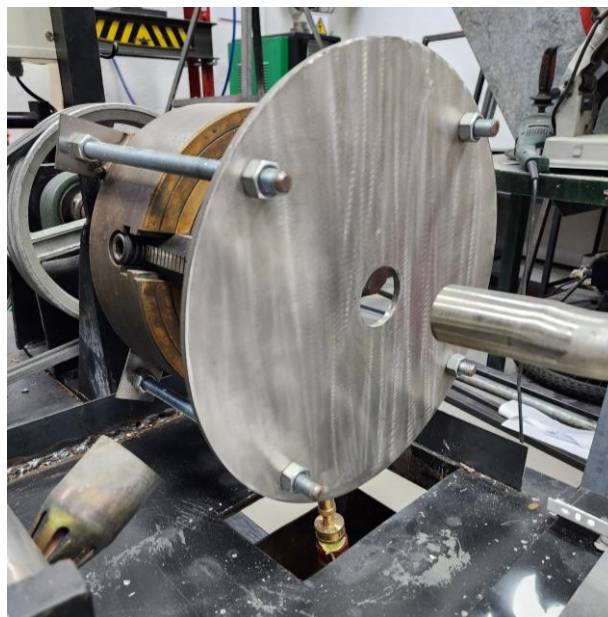
Manual de operación figura #10. Tapas protectoras traseras de Cojinetes

3. Colocar el cojinete en el centro del mandril y proceder con el ajuste individual de cada muela con su respectiva herramienta. Nota: Tomar en cuenta que el mandril no es auto-centrante por lo que es necesario guiarse con las líneas guías del mandril.



Manual de operación figura #11. Mandril de 4 muelas con líneas guía

4. Volver a colocar la cubierta selladora frontal redonda (figura 8) en los tornillos sin fin. Proceder a ajustar las tuercas M19 para ajustar la cubierta redonda contra el mandril y evitar fugas frontales.



Manual de operación figura #12. Mandril de 4 muelas con cubierta selladora

5. Comprobar si el colador de babbitt ingresa sin dificultad al orificio central de la cubierta selladora. En el caso de que no, reajustar según convenga.

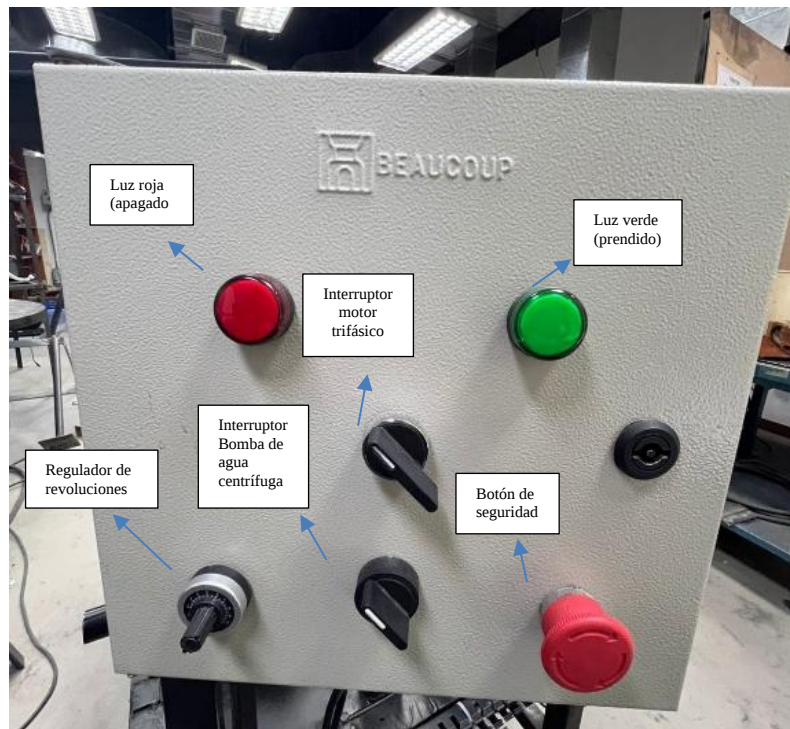
- **Encendido de la máquina:**

1. Revisar que los pasos de la preparación de la máquina se cumplan antes de encender la máquina (página 6).
2. Conectar la caja de control y la bomba de agua centrífuga a un enchufe de 220V y 110V respectivamente.
3. Prender el interruptor termomagnético que se encuentra en la caja de control.



Manual de operación figura #13. Interruptor termomagnético encendido

4. Esperar unos segundo a que inicie el sistema. Cerrar la caja de control y controlar las funciones de la máquina con el regulador, interruptores y sus potenciadores.



Manual de operación figura #14. Panel de Control

USO DE LA MÁQUINA

1. Encender el motor trifásico, se debe desactivar el botón de seguridad y colocar el interruptor en la luz verde (encendido).



Manual de operación figura #15. Motor trifásico encendido

2. Controlar las revoluciones por minuto del motor trifásico con el regulador, según el tamaño del cojinete a recubrir (Tabla 2).
3. Cerrar la cubierta de seguridad.



Manual de operación figura #16. Cubierta de Seguridad

4. Subir las RPM progresivamente, NO de manera abrupta.
5. Abrir la válvula de paso de la antorcha y regular la salida de llama.
6. Controlar el tiempo de precalentamiento según corresponda (Tabla 3).
7. Una vez cumplido el tiempo de precalentamiento, deslizar hacia adelante el colador dentro del cojinete.



Manual de operación figura #17. Deslizamiento de colador hacia cojinete

8. Verter la aleación de Babbitt a su temperatura correspondiente (Tabla 3) en el colador.
9. Una vez vertido toda la aleación, deslizar hacia atrás el colador del cojinete.
10. Esperar 4 minutos para que se adhiera el metal a las paredes internas del cojinete manteniendo las RPM.
11. Pasado el tiempo del paso anterior, encender la bomba de agua para tener un aumento de dureza y resistencia de recubrimiento.
12. Encender la bomba con el interruptor del panel de control durante 1 minuto y apagarla.
13. Posteriormente permitir que gire el mandril unos minutos hasta disminuir la temperatura.
14. Bajar las revoluciones de manera controlada y colocar el interruptor en luz roja (apagado).



Manual de operación figura #18. Motor trifásico apagado

15. Proceder a retirar la cubierta de seguridad (Figura 15).
 16. Desajustar las tuercas M19 de los tornillos sin fin y retirar la cubierta selladora circular para tener acceso al cojinete.
 17. Desajustar las 4 muelas del mandril para retirar el cojinete.
- **Apagado de la máquina:**
 1. Colocar el interruptor del motor hacia la luz roja (apagado) y revisar que las revoluciones del motor estén en cero.
 2. Abrir la caja de control y apagar el interruptor termomagnético (Figura 12).
 3. Proceder a cerrar y desconectar la válvula de gas GLP industrial.
 4. Proceder a desconectar los enchufes de 220V y 110V.
 - **Almacenamiento:**
 1. Mantener la máquina en un espacio cerrado donde los ejes y chumaceras no se contaminen con polvo para evitar problemas al momento de rotar.
 2. Al momento de guardar la máquina colocar los seguros de las ruedas para evitar accidentes.

3. Mantener los cables de poder sobre la mesa para que no interfieran el paso y no se deterioren.
4. Colocar el tanque de gas industrial en una zona fuera de peligro.

- **Controles:**

1. **Interruptores de encendido o apagado:**

- **Interruptor de funcionamiento de motor trifásico:**

- El interruptor de funcionamiento del motor trifásico sirve para permitir la rotación del sistema (Figura 13)

- **Interruptor de funcionamiento de bomba de agua centrífuga:**

- El interruptor de la bomba de agua centrífuga ubicada en la caja de control sirve para encender o apagar la misma (Figura 13).

2. **Control de seguridad:**

- **Botón de emergencia:**

- El botón de emergencia de todo el sistema se encuentra ubicado en la caja de control y detiene el funcionamiento de todos los subsistemas de la máquina de fundición centrífuga (Figura 13).

- **Rangos variables de Operación:**

A continuación, se presentará la tabla de especificaciones para la operación correcta de la máquina para fundición centrífuga de babbitt para cojinetes de lubricación.

Manual de operación tabla #19. Rangos Variables de Operación

Parámetro	Rango
Diámetros de cojinetes	4" / 6" / 8"
Temperatura de precalentamiento de cojinetes	150°C – 250°C

Temperatura de Vertido	400°C – 450°C
Velocidades de rotación (RPM)	1069.9 / 873.5 / 765.5
Frecuencia de operación (Hz)	35.66 / 29.12 / 25.22
Tiempos de precalentamiento	1m44s / 2m35s / 3m28s

- **Seguridad:**

La seguridad es un aspecto importante que se debe tratar, para ello, se presenta las medidas de seguridad personal para cualquier usuario que opere la máquina.

Manual de operación tabla #20. Medidas de Protección Personal

Medida de protección personal	Descripción	Propósito
Guantes térmicos	Guantes resistentes a altas temperaturas.	Proteger las manos del operador ante posibles quemaduras por contacto con superficies calientes o metal fundido.
Protector facial de policarbonato	Pantalla facial transparente resistente a impactos y salpicaduras.	Proteger el rostro y los ojos de salpicaduras de Babbitt fundido.
Ropa ignífuga	Overol o mandil de tela resistente al fuego.	Reducir el riesgo de quemaduras por proyección de metal fundido o exposición a llama abierta.

Botas de seguridad punta de acero	Calzado industrial con punta de acero y suela antideslizante.	Proteger los pies de objetos pesados (cojinetes), metal caliente o derrames accidentales.
Protección auditiva (orejeras o tapones)	Dispositivo para reducir el nivel de ruido recibido por el operador.	Minimizar la exposición prolongada a niveles de ruido generados por el motor y sistemas rotativos.
Guantes dieléctricos (en mantenimiento eléctrico)	Guantes aislantes para manipular componentes eléctricos.	Prevenir choques eléctricos durante inspección o mantenimiento del sistema eléctrico.

El uso de esta máquina expone a los usuarios a varios riesgos, algunos de ellos se los expone en la siguiente tabla.

Manual de operación tabla #21. Precauciones ante Riesgos

Riesgo Potencial	Precaución Recomendada	Propósito
Quemaduras por contacto con Babbitt fundido	Verter el metal con herramientas adecuadas, usar EPP completo, mantener distancia.	Evitar lesiones por exposición directa al metal a alta temperatura.

Salpicaduras de metal fundido	Utilizar protector facial y ropa ignífuga; evitar movimientos bruscos durante el vertido.	Proteger al operador de salpicaduras inesperadas.
Fuga o mal manejo de gas de la antorcha	Verificar conexiones, usar válvulas en buen estado, operar en áreas ventiladas.	Prevenir incendios o explosiones.
Atrapamiento en el mandril o bandas	No usar ropa suelta, mantener las manos alejadas durante la operación.	Evitar accidentes mecánicos graves.
Choque eléctrico	Usar guantes dieléctricos en mantenimiento.	Proteger al operador de descargas eléctricas.
Derrames o fugas de agua en el sistema de enfriamiento	Revisar conexiones, limpiar derrames de inmediato, ubicar cables lejos del agua.	Evitar resbalones o cortocircuitos.

ANEXO C: MANUAL DE MANTENIMIENTO



UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO

**MANUAL DE MANTENIMIENTO DE LA MÁQUINA DE FUNDICIÓN
CENTRÍFUGA DE BABBITT PARA COJINETES DE LUBRICACIÓN**

TABLA DE CONTENIDO

PLAN DE MANTENIMIENTO	215
MANTENIMIENTO PREVENTIVO	216
MANTENIMIENTO CORRECTIVO	219
PROBLEMAS COMUNES	222
PROBLEMAS CRÍTICOS	224
REGISTRO DE MANTENIMIENTO.....	225
SOPORTE TÉCNICO	226
REFERENCIAS.....	227

PLAN DE MANTENIMIENTO

Para la elaboración del plan de mantenimiento, se utiliza como referencia la normativa ISO 14224, esta normativa proporciona directrices para la recopilación y estructuración de datos de mantenimiento, aplicables a equipos industriales. Esta normativa establece la clasificación de subsistemas, identificación de modos y causas de falla, y definición de estrategias de mantenimiento adecuadas según la criticidad de cada componente (ISO, 2016).

La fundidora centrífuga para recubrimientos de Babbitt, al ser una máquina compuesta de una gran variedad de componentes, para facilidad de comprensión de su operación y mantenimiento se divide en los siguientes subensambles:

- A. Colador para vertido de Babbitt.
- B. La cubierta.
- C. Variador de velocidades.
- D. Sistema de sujeción.
- E. Motor.
- F. Caja de control.
- G. Sistema de calentamiento.
- H. Sistema de enfriamiento.
- I. Ensamble de la mesa.

En el Anexo A, todos los subsistemas se detallan por medio de ilustraciones que permiten identificar de forma adecuada cada uno de los subsistemas.

A continuación, se indica una tabla, con los subensambles representados en la sección del plan de operación, que presenta los elementos claves de cada una de las subsecciones de la máquina que deben ser consideradas para su mantenimiento.

Manual de mantenimiento tabla #1. Subsistemas que requieren mantenimiento

Subsistemas que requieren mantenimiento	
Subsistema	Componentes clave
A. Colador	Canal de vertido, boquilla
B. Cubierta	Bisagras, capa interna
C. Variador de velocidades	Poleas, bandas, ejes, chumaceras
D. Sistema de sujeción	Mandril, eje roscado, tuercas, tapa
E. Motor	Motor, acoplamiento
F. Caja de control	Variador de frecuencia, interruptores
G. Sistema de calentamiento	Boquilla de gas, mangueras, encendido
H. Sistema de enfriamiento	Bomba, tanque, filtro de malla, tuberías
I. Ensamble de mesa	Pernos, soldadura, estructura metálica, plancha de la mesa, protecciones agua, ruedas

MANTENIMIENTO PREVENTIVO

Para el mantenimiento preventivo es necesario un conjunto de acciones que se realicen de forma integral y sistemática, donde se pueda garantizar con correcto funcionamiento de la máquina, que esta opere sin averías, de forma adecuada. Este tipo de mantenimientos debe realizarse bajo parámetros y procedimientos específicos, con un plan previamente estructurado que evite fallos futuros de la máquina (Proteval, 2021).

La máquina para fundición centrífuga de Babbitt para cojinetes de lubricación, al ser un conjunto interactuante de varios componentes, debe cumplir estrictamente con los

procedimientos de mantenimiento para garantizar su correcto funcionamiento y seguridad del operador. El mantenimiento preventivo de esta máquina se compone en tres componentes:

- Mantenimiento preventivo en base al tiempo.
- Mantenimiento preventivo en base al uso.
- Mantenimiento predictivo.

Mantenimiento preventivo en base al tiempo

El mantenimiento en base al tiempo debe ser considerado independiente de si la máquina se utilice continua o intermitentemente, ya que estos procedimientos garantizan que la máquina funcione de forma adecuada en el momento que se necesite utilizarla.

Manual de mantenimiento tabla #2. Mantenimientos preventivos por tiempo

Mantenimiento preventivo por tiempo		
Frecuencia	Actividades	Subsistema
Semanal	Limpieza general, inspección visual, revisión de conexiones eléctricas.	Todos
Mensual	Lubricación de mandril y rodamientos. Revisión de la malla de filtrado del tanque. Test de botón de emergencia.	C, D, F, H
Trimestral	Inspección del aislamiento del motor, limpieza del sistema de ventilación. Revisión del VDF y limpieza de la caja de control.	E, F
Semestral	Verificación y ajuste de los tornillos estructurales. Revisión del sellado o del sistema de colada.	A, I
Anual	Limpieza interna del sistema de enfriamiento. Verificar que el deslizamiento del motor se mantenga entre 2-6 %.	E, H

Cada 18 meses	Reemplazo de bandas de transmisión.	C
------------------	-------------------------------------	---

Mantenimiento preventivo en base al uso

Al ser una máquina que opera a altas revoluciones y con pesos considerables sostenidos en el eje de transmisión, esta máquina experimenta esfuerzos, vibraciones y fatiga constantemente, por lo tanto, es necesario darle mantenimiento preventivo en base al uso.

Manual de mantenimiento tabla #3. Mantenimientos preventivos por uso

Mantenimiento preventivo por uso		
Frecuencia	Actividades	Subsistema
Cada 100 horas	Inspección de ejes, mandril, y sistema de poleas.	C, D
Cada 20 ciclos de fundición	Inspección de canal de colada.	A
Cada 100 ciclos de fundición	Verificación de estado de bandas y alineación de poleas y ejes.	C
Cada 250 ciclos de fundición	Revisión estructural de la estructura y montajes de la máquina.	Todos

Mantenimiento predictivo

Si el operador considera que hay aspectos, que, dentro del modo de operación utilizado, puedan resultar en un problema de la maquinaria, puede optar por realizar anticipadamente los mantenimientos anteriormente mencionados o uno de los siguientes mantenimientos predictivos recomendados:

Manual de mantenimiento tabla #4. Mantenimientos predictivos

Mantenimiento predictivo		
Método de evaluación	Actividades	Subsistema
Si la carga frecuencia de cojinetes es alta, por influencia de vibraciones	Revisar rodamientos, y desalineaciones del eje y poleas.	C, E
Inspección infrarroja	Identificar puntos de sobrecalentamiento en el motor y bomba, y puntos de fricción.	C, E
Revisión de apariencia de la banda de transmisión.	Si la polea presenta rasgos de desgaste muy marcados o se desliza esta debe ser cambiada.	C
Análisis de flujo y presión del agua	Evaluar el caudal del sistema de refrigeración y verificar obstrucciones en el sistema.	H

MANTENIMIENTO CORRECTIVO

El mantenimiento correctivo industrial se refiere a toda operación que se realiza a un tipo de máquina presente en el ámbito industrial, esta acción se realiza únicamente si se detecta algún tipo de fallo, a diferencia del mantenimiento preventivo (Sanz, 2023). A continuación, se presenta una tabla de mantenimiento correctivo para la máquina de fundición centrífuga, donde se detalla posibles fallas, causas probables, acciones correctivas y subsistemas involucrados:

Manual de mantenimiento tabla #5. Mantenimientos correctivos

Mantenimiento correctivo			
Falla Detectada	Causa Probable	Acción Correctiva	Subsistema Afectado
Boquilla de gas no enciende o pierde presión	Obstrucción, válvula defectuosa o fuga en manguera	Limpiar boquilla, reemplazar válvula o manguera	G
Motor no arranca o se detiene repentinamente	Fallo en bobinado, sobrecalentamiento o variador dañado	Revisar bobinado, ventilación y VFD. Reemplazar motor o VDF, en caso de no ser posible una reparación	C, E, F
Variador de frecuencia no responde	Problema eléctrico, sobrecarga o mala ventilación	Reiniciar el VDF, revisar código de error, limpiar ventilación, verificar parametrización	F
Bandas patinan o se rompen	Desgaste, desalineación o tensión incorrecta	Reemplazar bandas, alinear poleas y ajustar tensión	C
Mandril no sujeta correctamente el molde	Desgaste en rosca o deformación de componentes	Reemplazar mandril	D

Tapa de sistema de sujeción no sella bien	Residuos de babbitt en la tapa o los ejes roscados	Limpiar los residuos de babbitt	D
Vibración excesiva durante la operación	Ejes deformados, rodamientos desgastados, falta de anclaje, peso excesivo, centrado incorrecto	Alineación del sistema de poleas, remplazo de chumaceras, ajustar anclaje. En caso de no solucionarse, eje o poleas podrían necesitar remplazo.	C, E, I
Enfriamiento ineficiente	Bomba averiada, malla o tuberías obstruidas	Limpiar o reemplazar filtro, revisar bomba y purgar el sistema	H
Fugas de Babbitt durante el vertido	Mal estado del colador, fisuras en canal de vertido, junta deteriorada o rieles inestables	Reparar o reemplazar boquilla o sellos. Remplazo de rieles	A
Fallo del botón de emergencia o interruptores	Contacto dañado o mal cableado	Verificar continuidad, reemplazar si no hay conmutación	F

Grietas en estructura o en la base	Sobrecarga, fatiga o soldadura deficiente	Reforzar o reparar soldaduras, verificar integridad estructural	I
Problemas de vibraciones en la cubierta	Soportes incorrectamente fijados	Ajustar el empernado de los soportes	B
Chispas	Cableado dañado o desconexiones en la caja de control	Remplazar cables defectuosos y verificar que todas las conexiones	F
Fugas de agua	Tanque con fisuras, tuberías rotas o juntas desajustadas	Reparar el tanque con sellos o soldadura, ajustar juntas de tubería o remplazo de tuberías	H

PROBLEMAS COMUNES

Fugas de babbitt: El babbitt en estado líquido, al tener una densidad relativamente baja, y al estar bajo la influencia de un GF considerablemente alto, tiende a filtrarse fuera del cojinete durante el proceso de fundición. Si la preparación del cojinete fue adecuada para este proceso, y el filtrado de babbitt ocurre, esto puede deberse a que la tapa de sujeción está suelta o no ajusta de forma adecuada. Por lo tanto, se debe seguir el siguiente procedimiento de mantenimiento y ajuste:

1. Revisar ejes roscados, agujeros de la tapa del colador, y pernos. Se debe revisar que estos no contengan residuos de babbitt.
2. Si hay residuos de Babbitt, removerlos. Especialmente de los componentes roscados.
3. Ajustar con dos llaves inglesas 19, los pernos M19 que ajustan la tapa del sistema de sujeción.
4. Verificar que el sellado, visiblemente, sea hermético.
5. Si el sello no es hermético, y se verificó que las secciones roscadas estén libres de babbitt puede deberse a un ajuste inapropiado, o a deformaciones en los ejes roscados o sus soportes. En este caso se deberá procurar que estos ejes se encuentren paralelos para que la tapa pueda ajustarse de forma paralela al cojinete.

Derrames de agua en ciclo de refrigeración: El ciclo de refrigeración, se realiza después del vertido y rotación. Este proceso utiliza un jet de agua para producir un choque térmico y que la adherencia del recubrimiento sea adecuada. Si al momento de finalizar este subproceso y hay agua presente en la base de apoyo de la máquina, o hacia el suelo, se debe considerar el siguiendo proceso de mantenimiento y/o corrección:

1. Verificar que la cubierta esté apropiadamente cerrada, que el tanque no se encuentre muy alto y que las revoluciones sean inferiores a las del proceso de fundido.
2. Revisar si las protecciones de agua no tienen grietas en la soldadura.
3. Si se detecta un espacio de filtrado, puede sellarse con silicona de alta temperatura los puntos de fuga.

PROBLEMAS CRÍTICOS

Vibraciones excesivas: La máquina de recubrimientos por fundición centrífuga, al ser una máquina de funcionamiento rotacional, presenta vibraciones leves durante su funcionamiento. Si el operador percibe que los movimientos de la máquina durante su operación son muy bruscos, y la máquina como tal presenta una gran inestabilidad, se debe detener la máquina y considerar el siguiente procedimiento de mantenimiento correctivo:

1. Inspeccionar eje del motor, poleas, banda, montaje del sistema de sujeción, variador de velocidades, motor, y chumaceras.
2. Se debe verificar y reajustar cada uno de los componentes o que están directamente relacionados con la rotación: motor, variador de velocidades y sistema de sujeción.
3. Si la vibración excesiva persiste, se debe considerar lo siguiente:
 - 3.1 Si se detecta deformación en el eje, se debe contactar con el proveedor para un replazo.
 - 3.2 Si se detecta que las poleas están desalineadas por deformación estas deben ser remplazadas. (Polea pequeña (salida del motor) de 4.5 in en V tipo A doble, Polea grande (eje al mandril) de 9in en V tipo A doble.
 - 3.3 Si se detecta que los ejes y poleas se encuentran desalineados, se debe realizar un servicio de alineamiento de estos.
 - 3.4 Si la causa de vibraciones son las chumaceras, estas deben ser remplazadas.

Sujeción defectuosa: Se debe verificar que la sujeción es adecuada, ya que de estar fallando este subsistema representaría un alto riesgo para el operador, debido a que este sistema sostiene a la chumacera a revoluciones de 800rpm. Si la sujeción es inadecuada se debe seguir los siguientes pasos:

1. Verificar que las “muelas” del mandril se encuentren en condiciones adecuadas.

2. Revisar que los tornillos sin fin del mandril se encuentren operativos, que no estén obstruidos o dañados. Remover cualquier escombros y/o objeto que obstaculice su correcto funcionamiento.
3. Si el mandril no proporciona una sujeción adecuada este deberá ser remplazado.

Falla de pernos de sujeción del mandril: Si, visiblemente se puede observar deformación o ruptura en los pernos que sujetan el mandril, estos deberán ser removidos y remplazados por pernos M13 de alta aleación de carbono.

REGISTRO DE MANTENIMIENTO

Manual de mantenimiento tabla #6. Registro de mantenimientos preventivos

Registro de mantenimientos preventivos			
Fecha	Subsistema/Parte	Labor de mantenimiento	Observaciones

Manual de mantenimiento tabla #7. Registro de mantenimientos correctivos

Registro de mantenimientos correctivos					
Fecha	Falla detectada	Subsistema/Parte	Labor de mantenimiento	¿Hubo remplazo?	Observaciones

SOPORTE TÉCNICO:

Manual de mantenimiento tabla #8. Información de Fabricantes

Tipo de consulta	Nombre	Número de teléfono	Correo electrónico
Eléctrica	Jackson Alcívar	0996326664	jalcivarm@estud.usfq.edu.ec
Mecánica rotacional	André Cevallos	0989842123	mcevallos1@estud.usfq.edu.ec
Refrigeración	Sebastián Acurio	0984810302	sacurio@estud.usfq.edu.ec
Calentamiento	Nicolás Ortiz	0982880561	nortizg@estud.usfq.edu.ec

REFERENCIAS

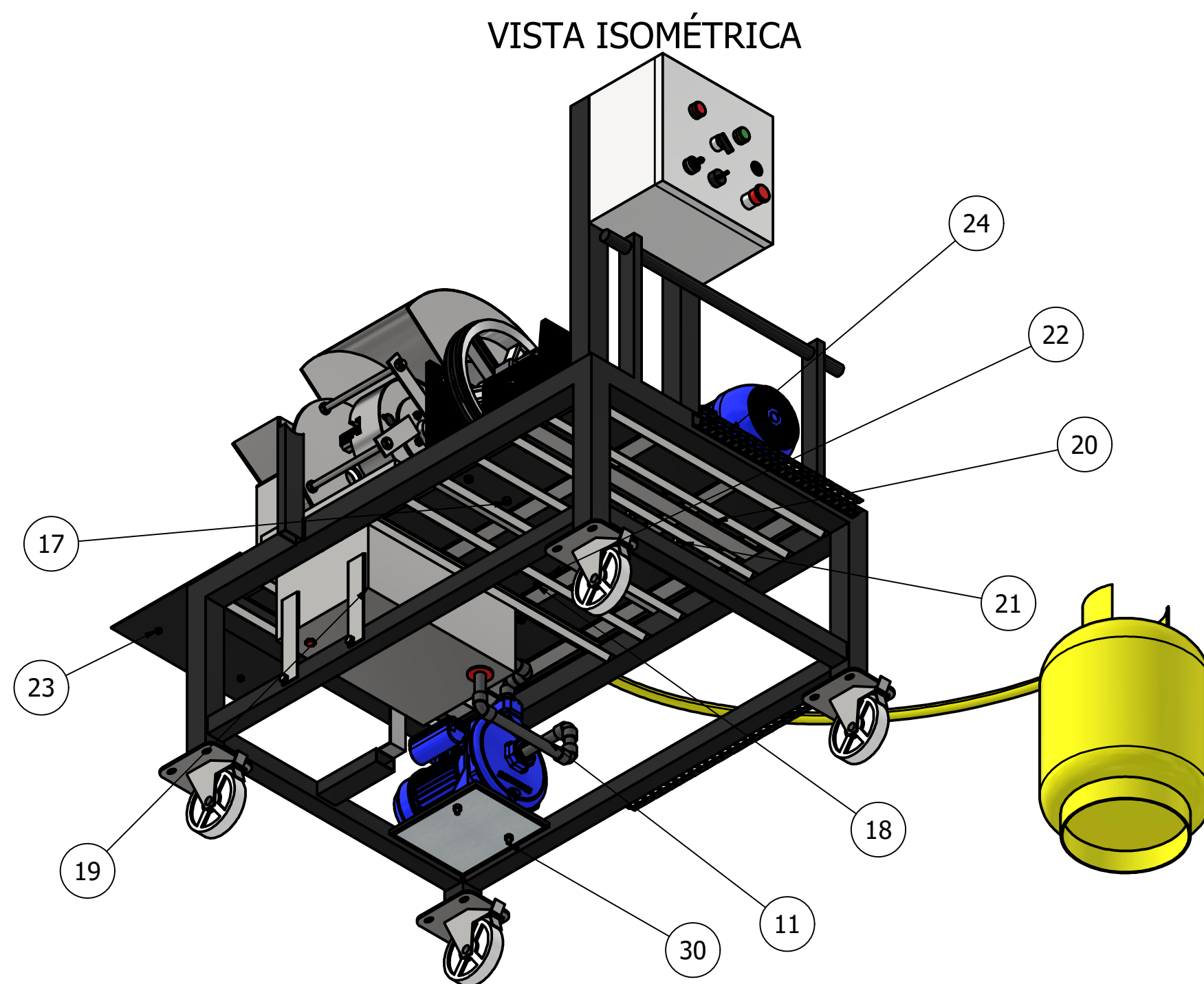
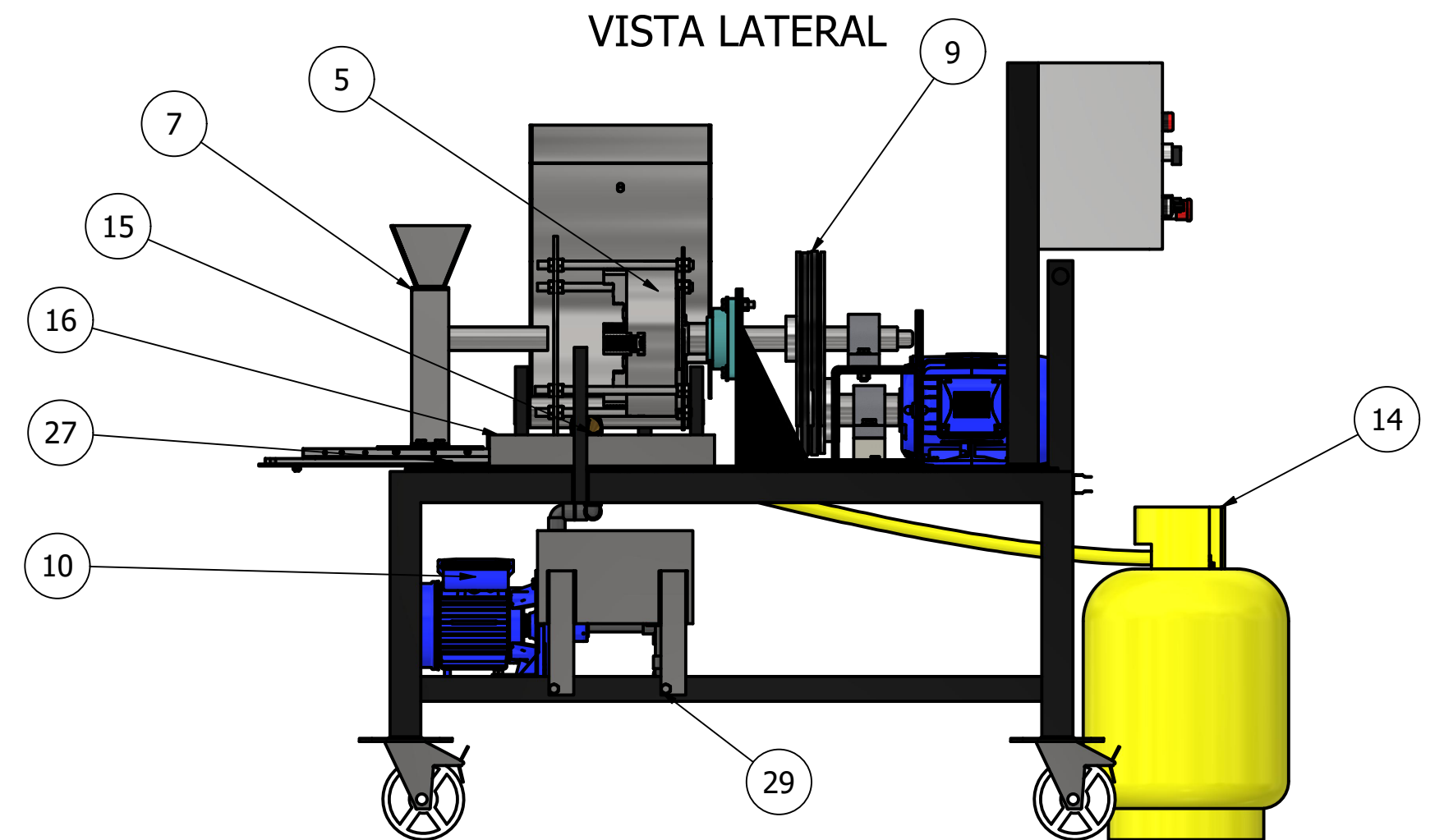
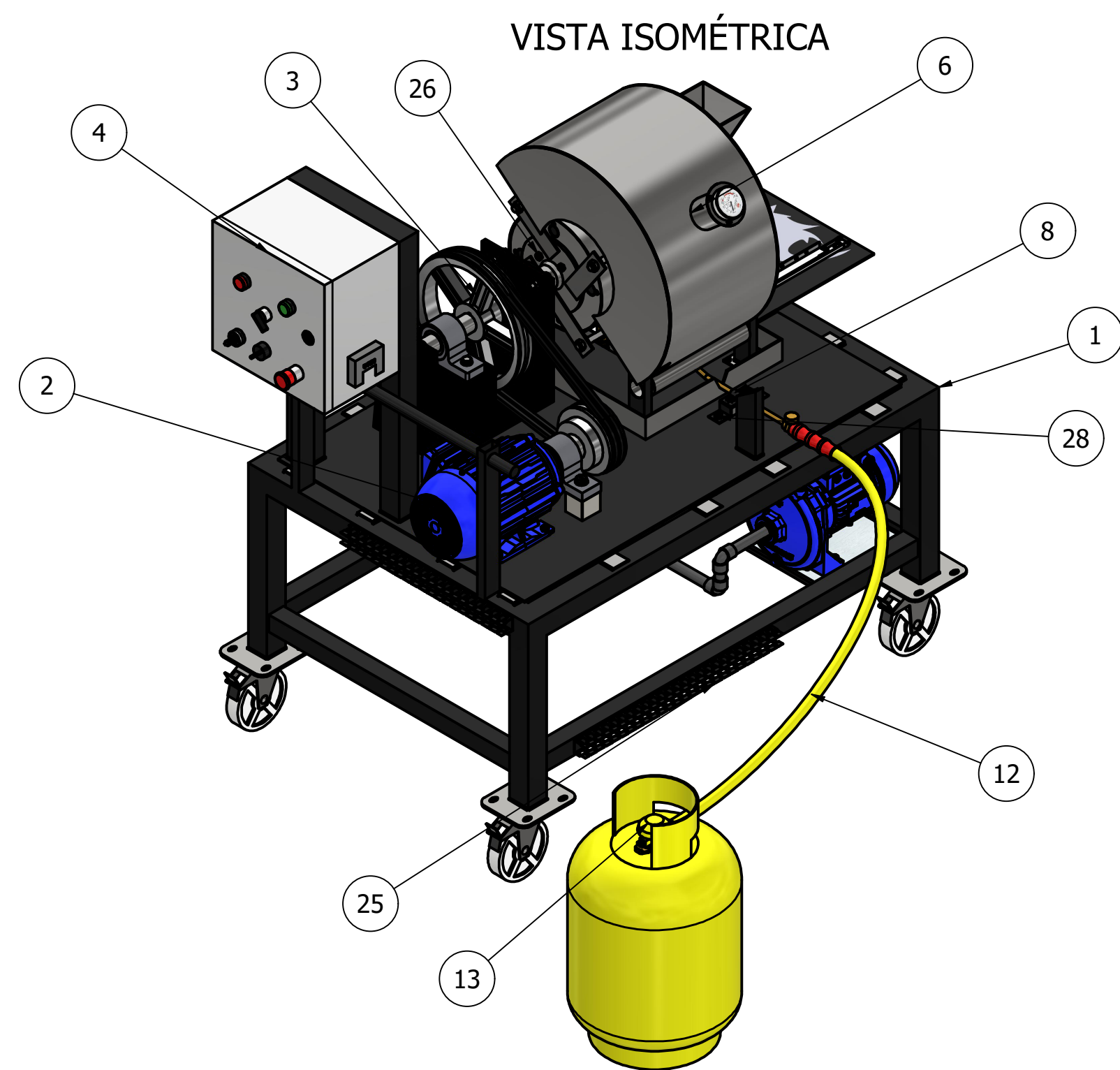
- ISO. (2016). *Petroleum, petrochemical and natural gas industries - Collection and exchange of reliability and maintenance data for equipment*. International Organization for Standarization
- Proteval. (2022). *El mantenimiento preventivo de la maquinaria industrial: Qué es, tipos, ventajas y beneficios*. Proteval. <https://proteval.com/que-es-mantenimiento-preventivo-maquinaria-industrial-ventajas-y-beneficios/>
- Sanz, J. (2023). *Mantenimiento correctivo industrial: Tipos, ventajas y ejemplos*. SZ Industrial. <https://szindustrial.com/mantenimiento-industrial-blog/mantenimiento-correctivo-industrial/>

ANEXO D: PLANOS DEL ENSAMBLE



UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO

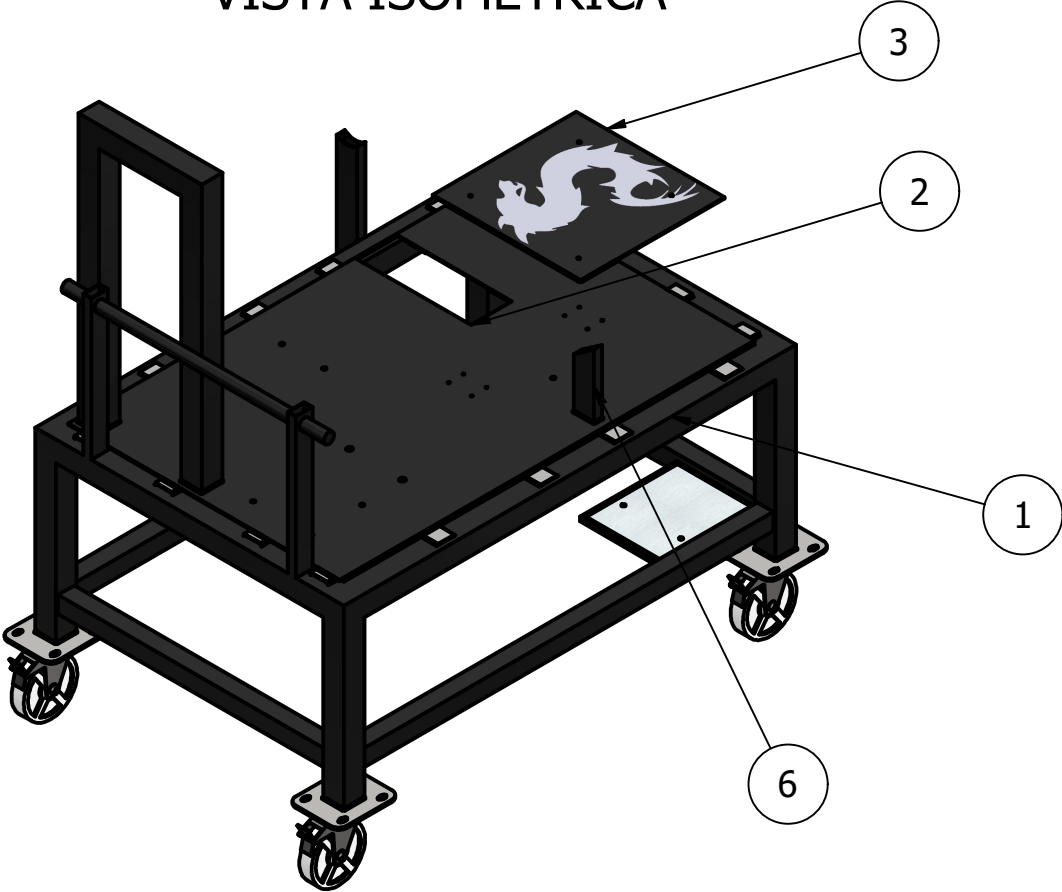
PLANOS DE LA MÁQUINA DE FUNDICIÓN CENTRÍFUGA DE BABBITT PARA COJINETES DE LUBRICACIÓN



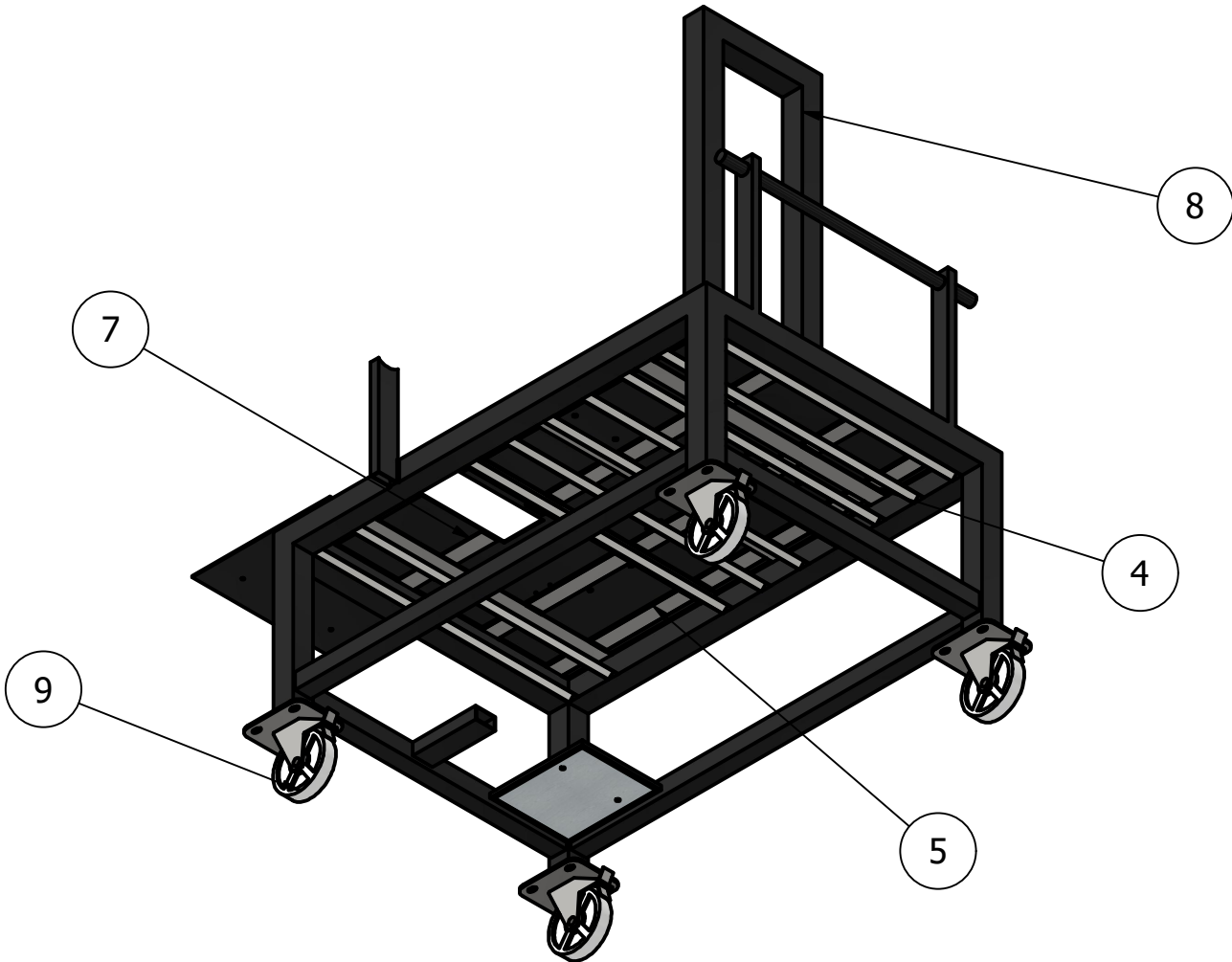
PARTS LIST			
ITEM	QTY	PART NUMBER	DESCRIPTION
1	1	Ensamble del bastidor	2025-FC-M1.1
2	1	Ensamble del motor-eje-polea	2025-FC-E1.1
3	1	Ensamble del variador de velocidades	2025-FC-V1.1
4	1	Caja de control	
5	1	Ensamble del sistema de sujeción	2025-FC-S1.1
6	1	Ensamble de la cubierta de seguridad	2025-FC-T1.1
7	1	Ensamble del colador	2025-FC-C1.1
8	1	Ensamble de la antorcha	2025-FC-A1.1
9	2	Banda V tipo A	
10	1	Bomba centrífuga	
11	1	Sistema de tuberías	
12	1	Manguera para GLP	
13	1	Regulador de GLP Industrial	
14	1	Cilindro de GLP Industrial	
15	1	Boquilla de manguera	
16	1	Deflector de salpicaduras	2025-FC-D1.1
17	8	Bolt GB/T 29.2 M8 x 20	Pernos
18	8	Bolt GB/T 29.2 M4 x 10	Pernos
19	1	Ensamble del tanque de agua	2025-FC-H1.1
20	10	ANSI B18.2.4.2M - M8x1,25	Tuercas
21	2	ANSI B18.2.4.2M - M12x1,75	Tuercas
22	10	ANSI B18.2.4.2M - M4x0,7	Tuercas
23	2	ANSI B18.2.4.2M - M6x1	Tuercas
24	1	Canaleta plástica de 44 cm	
25	1	Canaleta plástica de 53 cm	
26	3	Bolt GB/T 29.2 M8 x 25	Pernos
27	2	Bolt GB/T 29.2 M4 x 14	Pernos
28	2	Bolt GB/T 29.2 M8 x 16	Pernos
29	3	AS B194 - 3/8x7/8-H AB	Pernos
30	2	Bolt GB/T 29.2 M8 x 35	Pernos

Denominación				Ensamble general	ESCALA 1:10
	FECHA	NOMBRE	CÓDIGO 2025-FC		PESO 232.82 kg
DIBUJADO POR	19/03/25	Nicolás Ortiz			
REVISADO POR	24/03/25	Lorena Bejarano	REFERENCIA Máquina de Fundición Centrífuga		USFQ
APROBADO POR	26/03/25	Alfredo Valarezo			

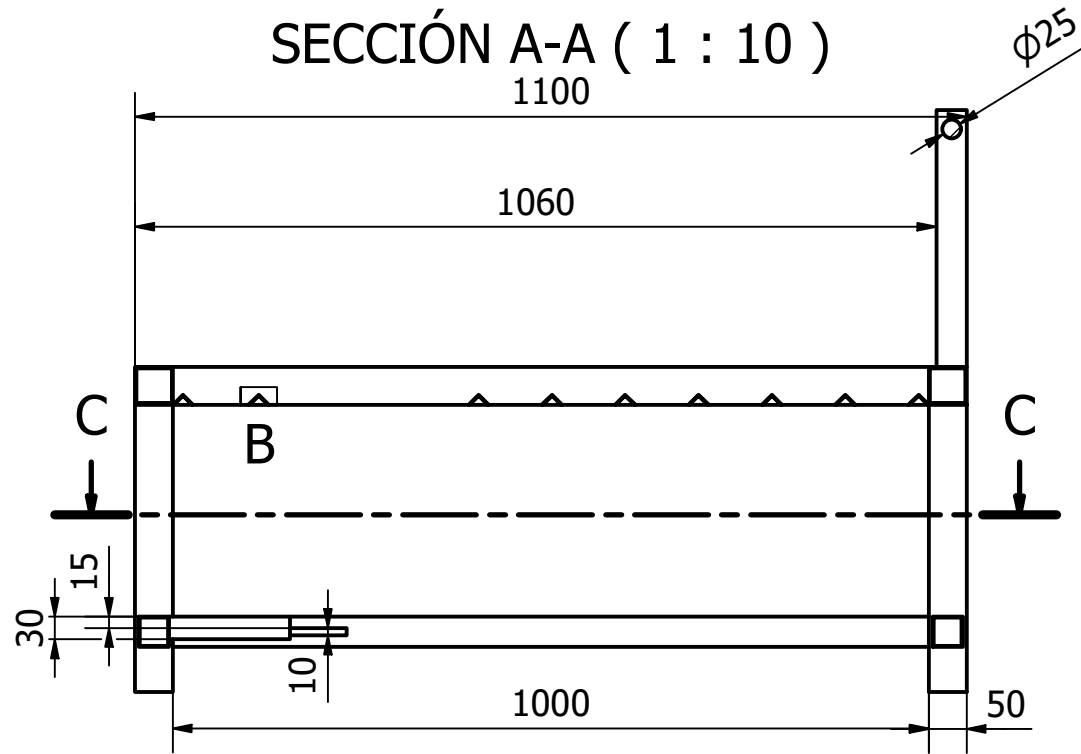
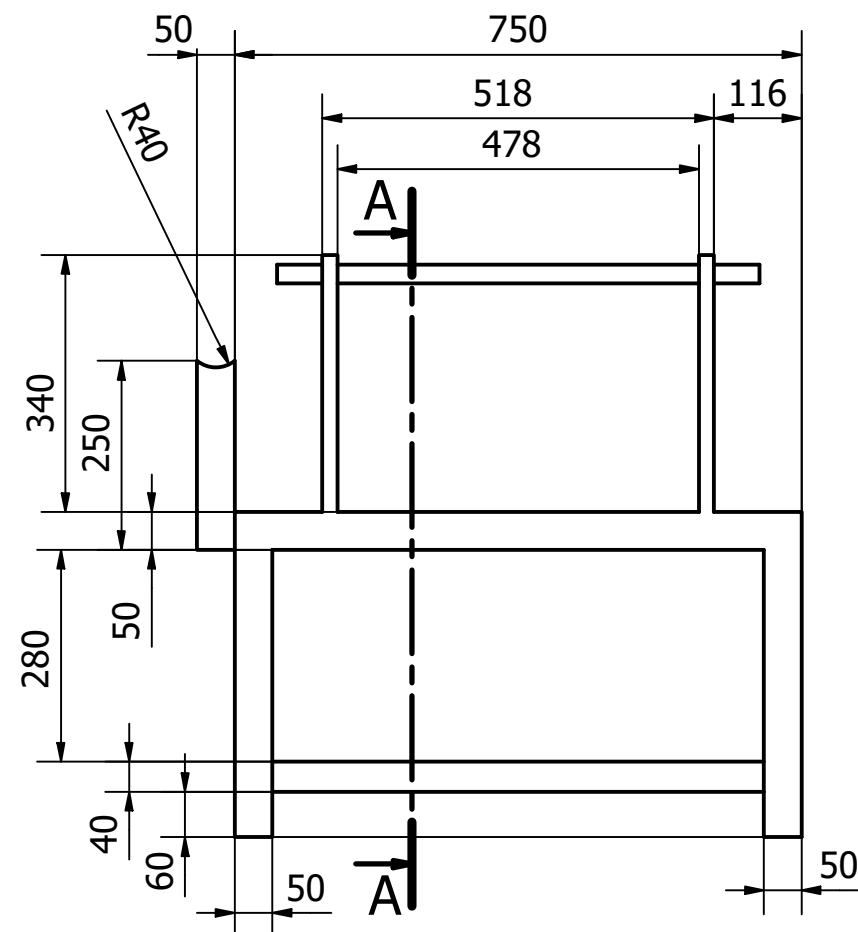
VISTA ISOMÉTRICA



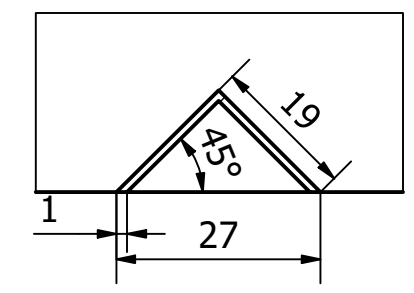
VISTA ISOMÉTRICA



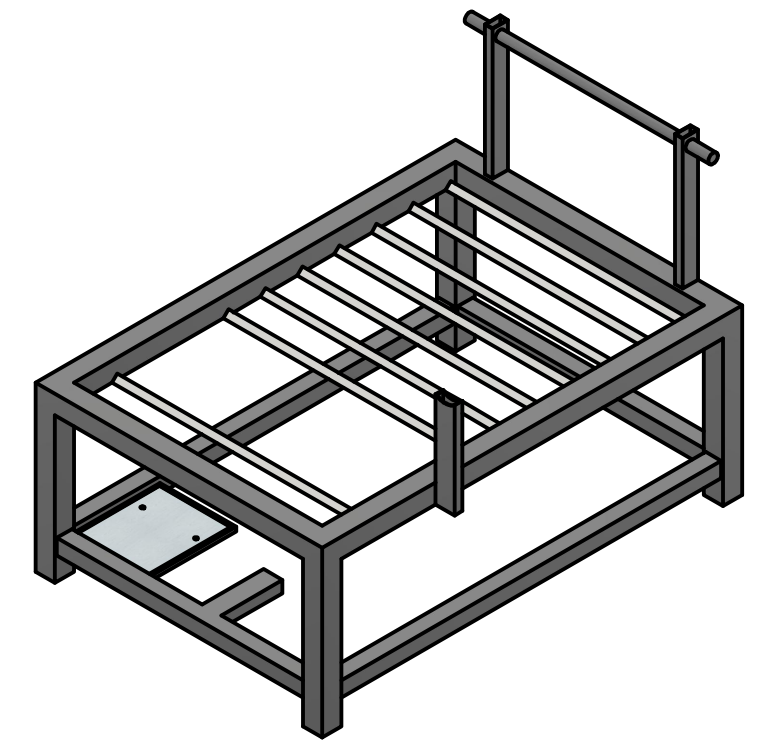
PARTS LIST				
ITEM	QTY	PART NUMBER		DESCRIPTION
1	1	Mesa		
2	1	Chapa superior		
3	1	Chapa superior para el colador		
4	4	Platina de 7.50 cm de largo		Espesor de 3 mm.
5	2	Platina de 10.50 cm de largo		Espesor de 3 mm.
6	1	Tope mecánico		Perfil cuadrado de 50x20 mm. Altura de 155 mm y cortada a 55°.
7	2	Platina de 10.50 cm de largo cortada		Espesor de 3 mm.
8	1	Soporte para la caja de control		Perfiles 50x50 mm soldados. Altura de 650 mm y ancho de 300 mm.
9	4	Ruedas		
Denominación Ensamble del bastidor				ESCALA 1:13
	FECHA	NOMBRE	CÓDIGO 2025-FC-M1.1	PESO 71.94 kg
DIBUJADO POR	19/03/25	Nicolás Ortiz		
REVISADO POR	24/03/25	Lorena Bejarano	REFERENCIA Ensamble general	USFQ
APROBADO POR	26/03/25	Alfredo Valarezo		



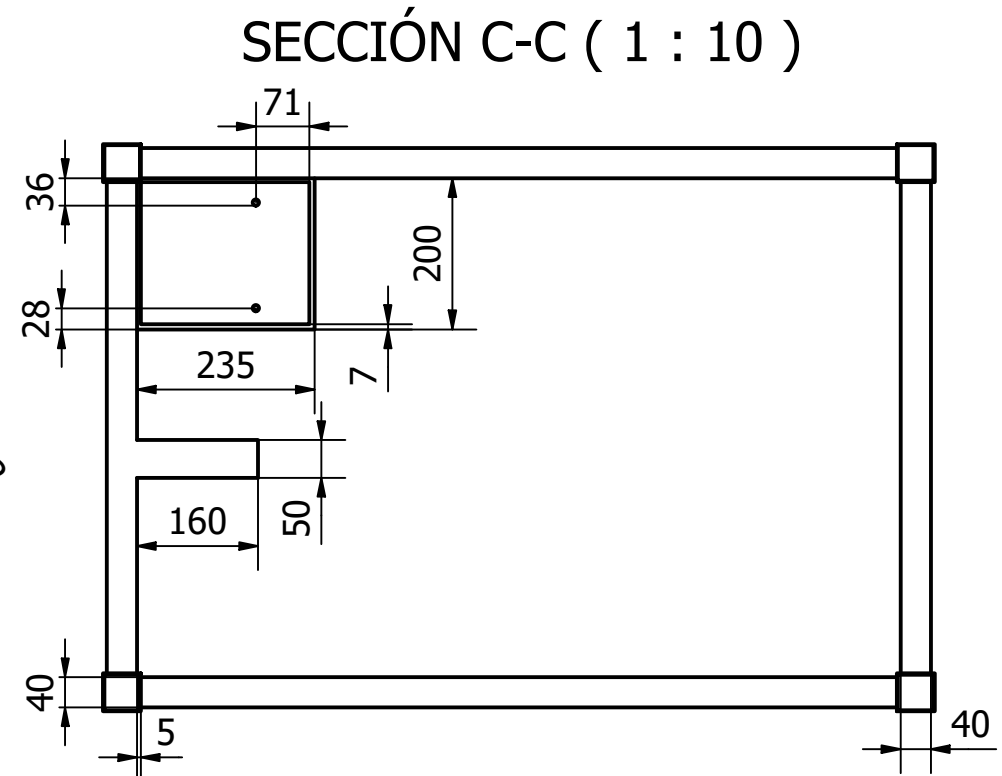
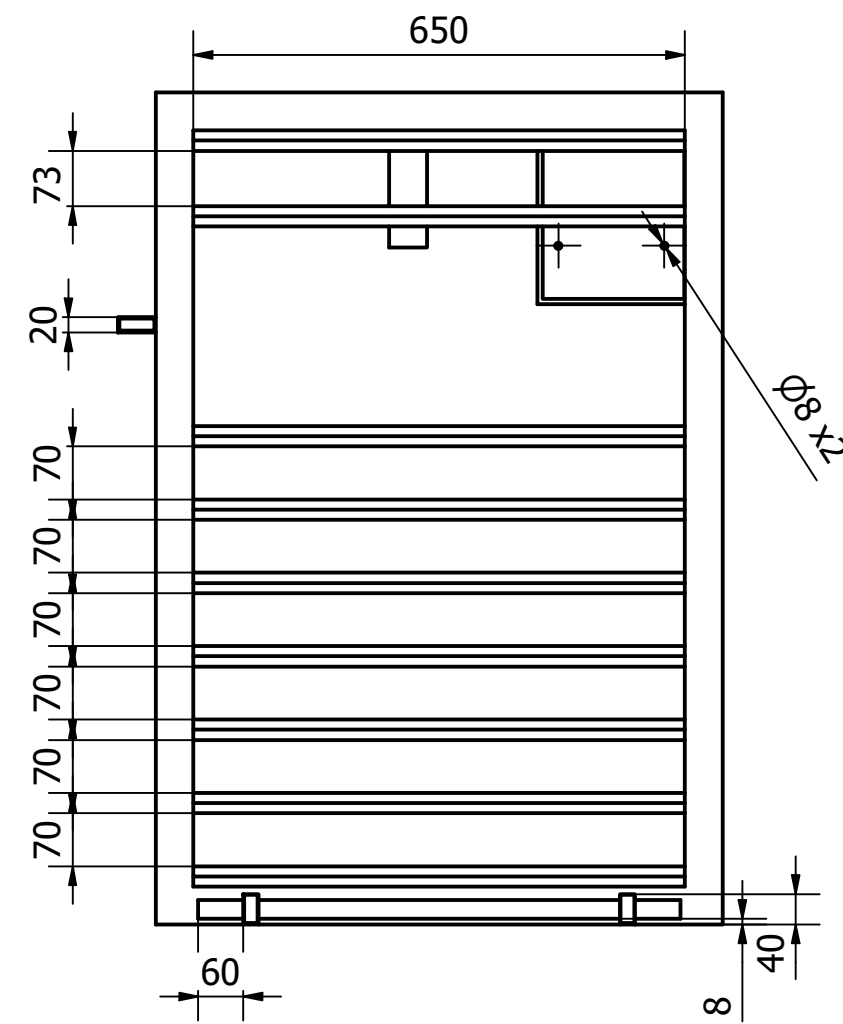
DETALLE B (1 : 1)



VISTA ISOMÉTRICA



- Nota:
- Mediante soldadura unir los perfiles.
 - Mediante fresado realizar los agujeros de $\varnothing 8$.



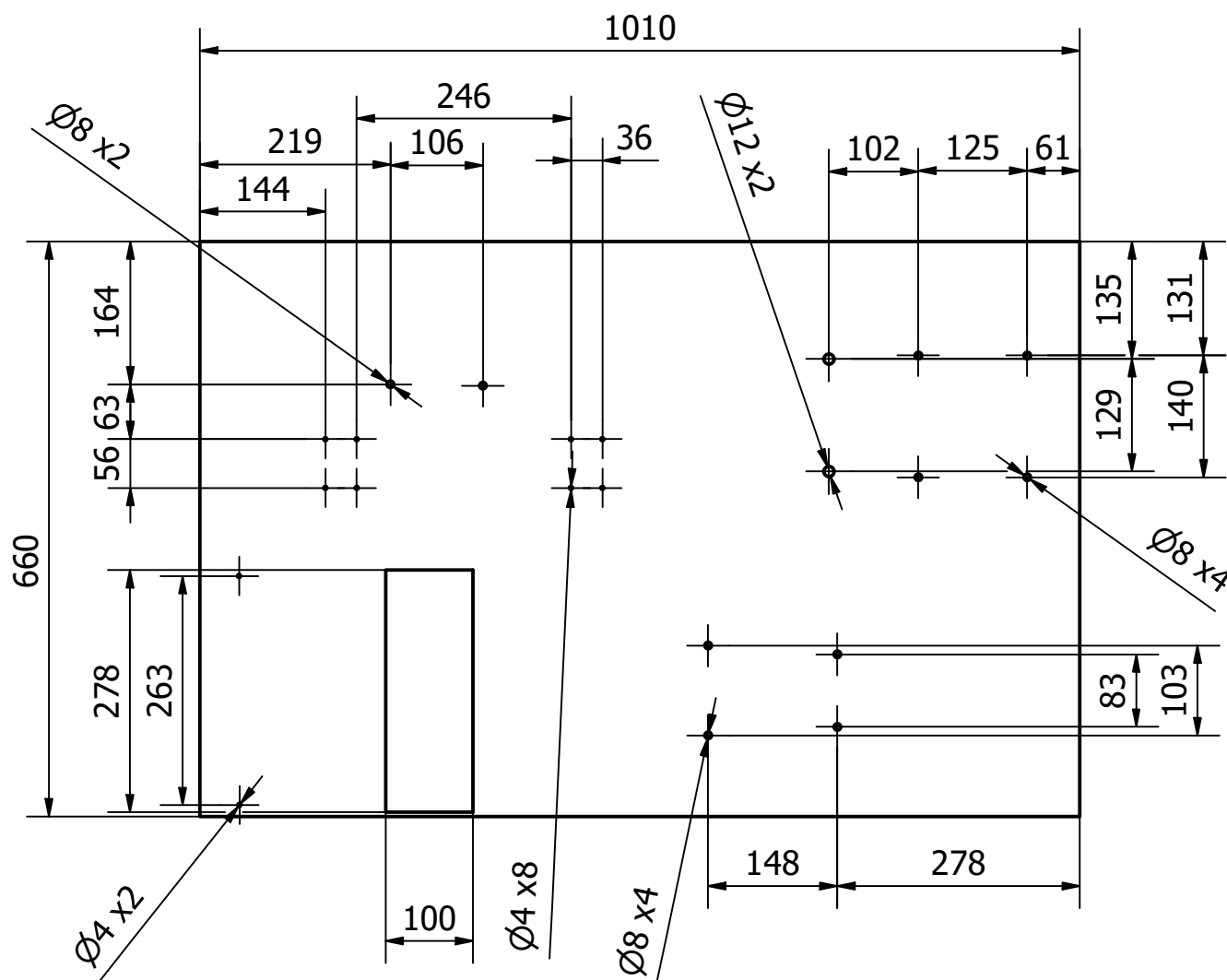
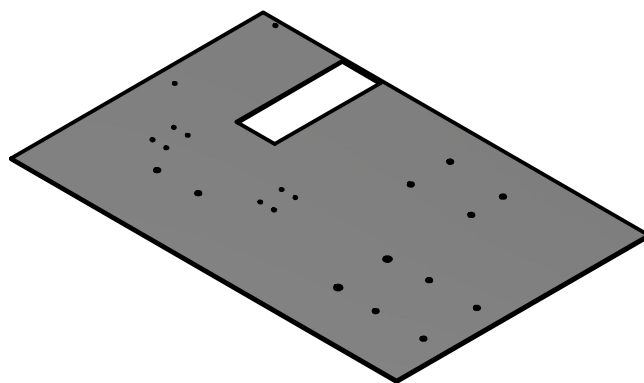
TOLERANCIA ±1 mm			Denominación Mesa	ESCALA 1:10
DIBUJADO POR	FECHA	NOMBRE	MATERIAL Acero estructural	CÓDIGO 2025-FC-M1.2
REVISADO POR	24/03/25	Lorena Bejarano		
APROBADO POR	26/03/25	Alfredo Valarezo	REFERENCIA Ensamble del bastidor	USFQ

Nota:

- Realizar corte (láser) mediante las dimensiones indicadas con acabado N10.

VISTA ISOMÉTRICA ESCALA 1:14

N10

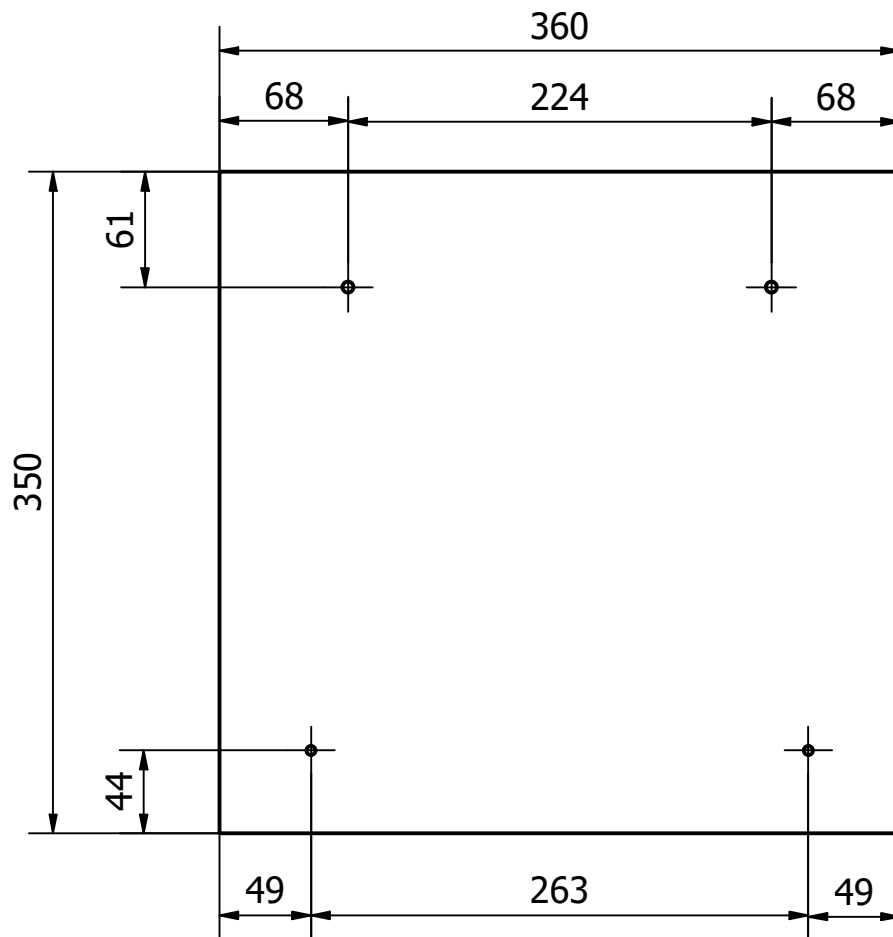
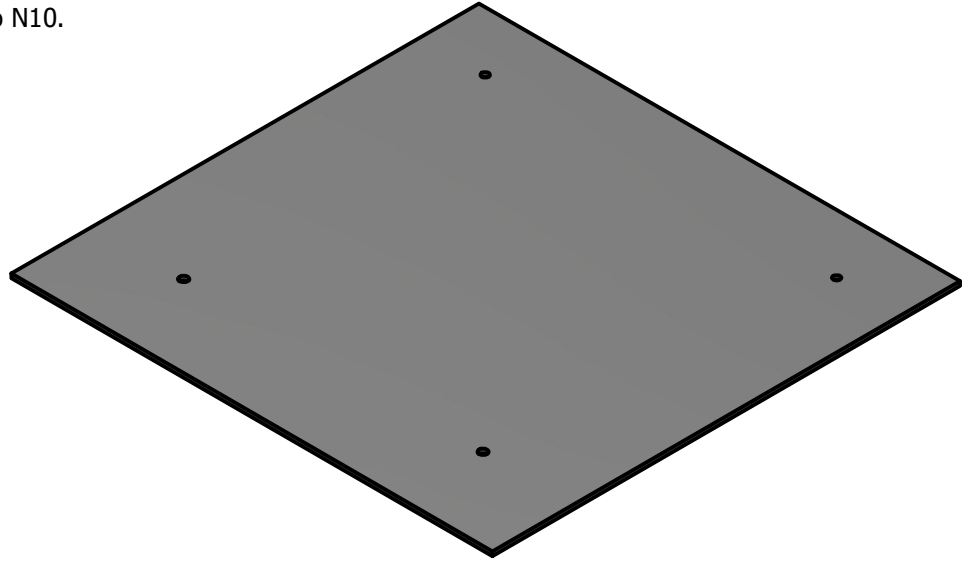


TOLERANCIA ±1 mm			Denominación Chapa superior	ESCALA 1:8
	FECHA	NOMBRE	MATERIAL Acero A-36 (Placa con espesor de 3 mm)	CÓDIGO 2025-FC-M1.3
DIBUJADO POR	19/03/25	Nicolás Ortiz		
REVISADO POR	24/03/25	Lorena Bejarano	REFERENCIA Ensamble del bastidor	USFQ
APROBADO POR	26/03/25	Alfredo Valarezo		

Nota:

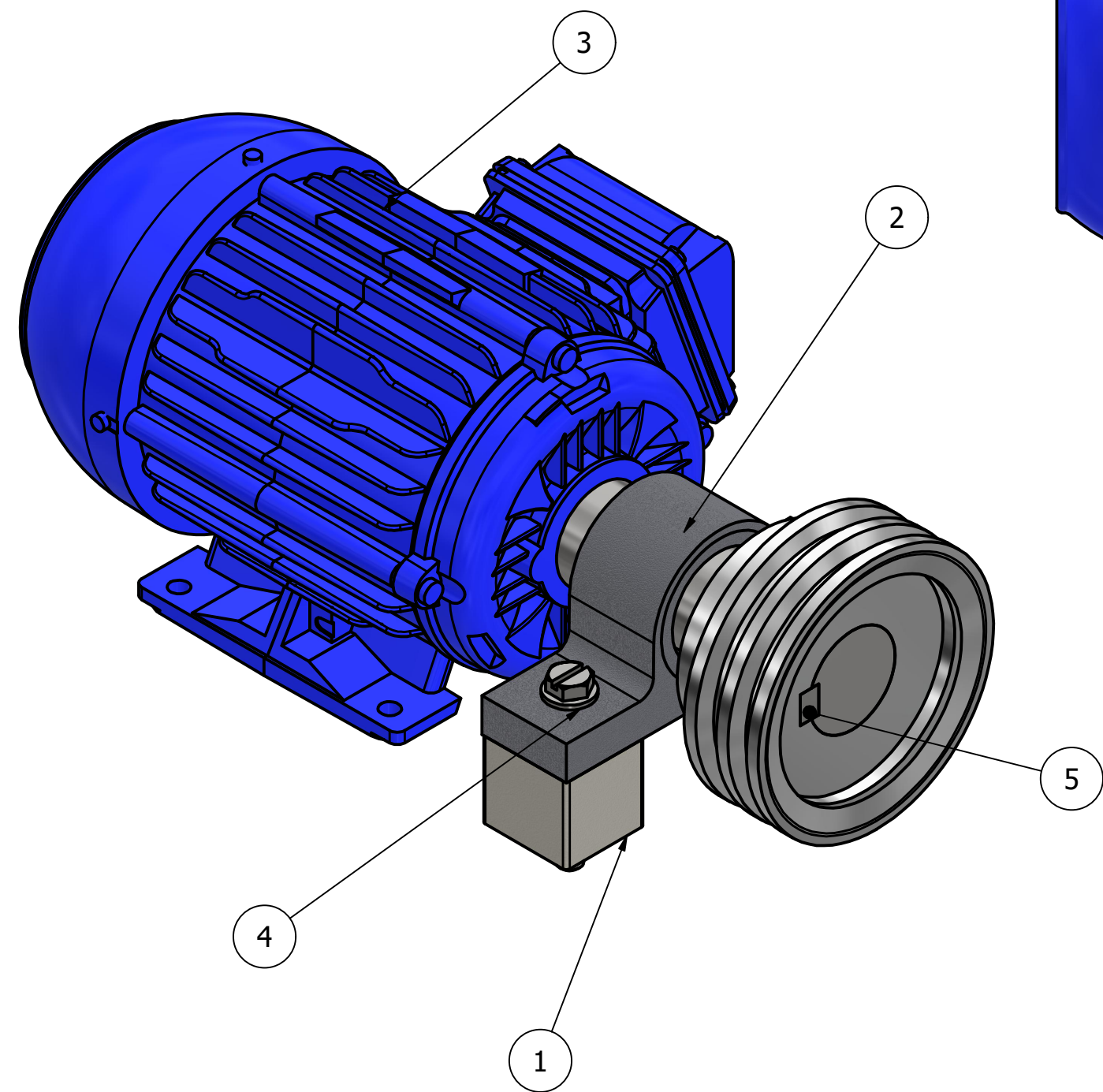
- Realizar corte (láser) mediante las dimensiones indicadas con acabado N10.

VISTA ISOMÉTRICA

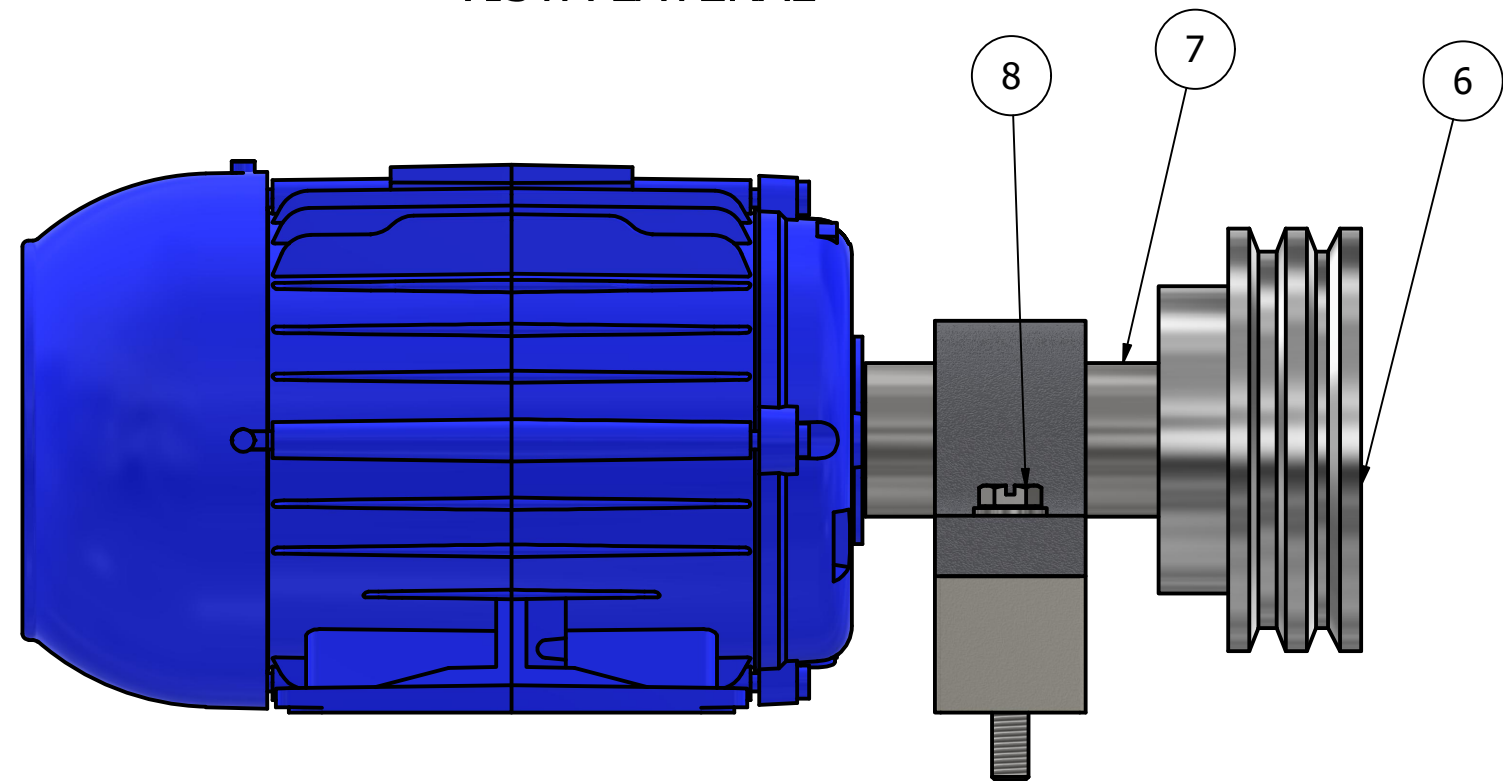


TOLERANCIA ±1 mm			Denominación Chapa superior para el colador	ESCALA 1:4
	FECHA	NOMBRE	MATERIAL Acero A-36 (Placa con espesor de 3 mm)	CÓDIGO 2025-FC-M1.4
DIBUJADO POR	19/03/25	Nicolás Ortiz		
REVISADO POR	24/03/25	Lorena Bejarano	REFERENCIA Ensamble del bastidor	USFQ
APROBADO POR	26/03/25	Alfredo Valarezo		

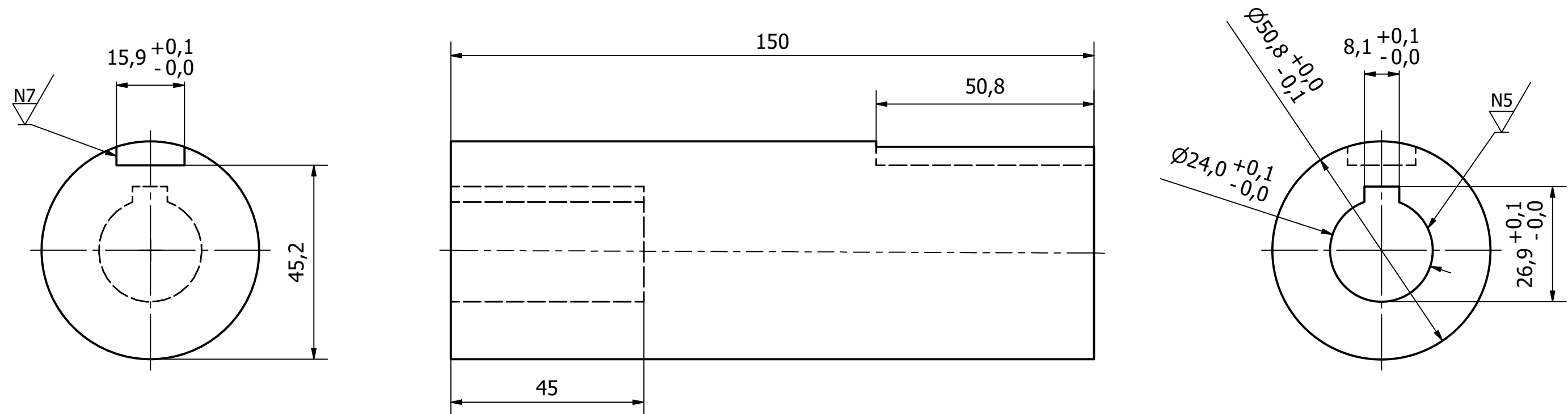
VISTA ISOMÉTRICA



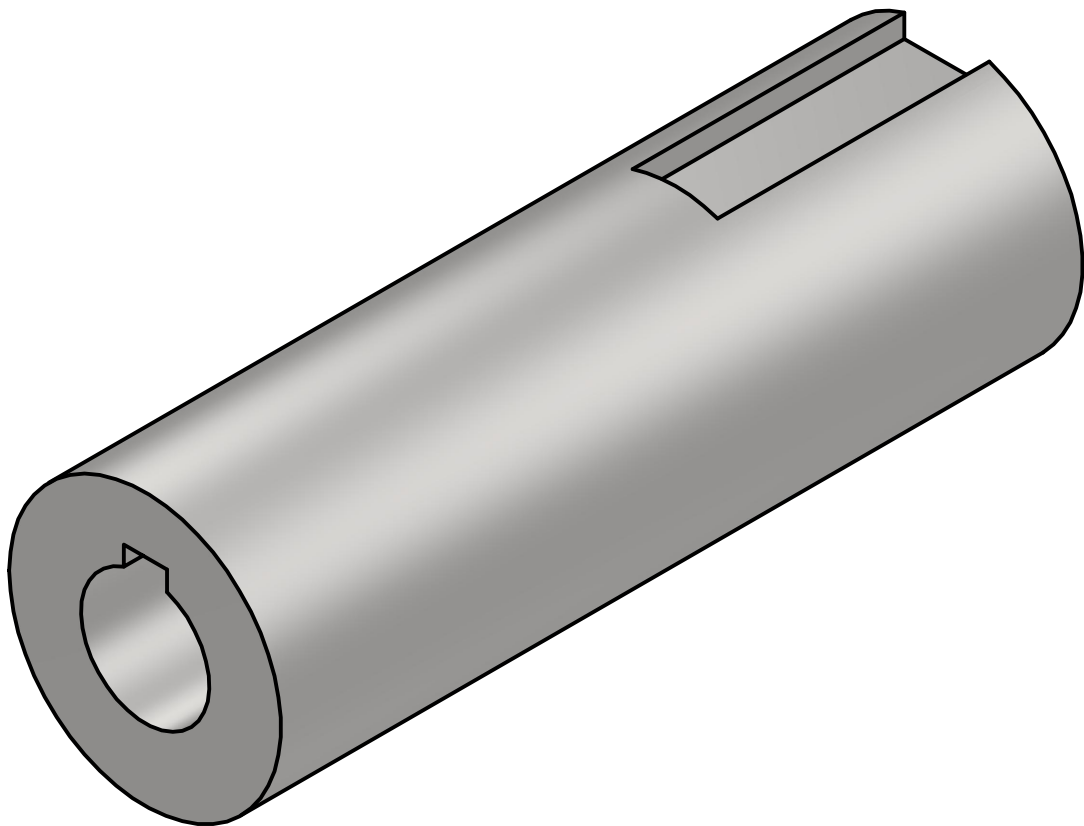
VISTA LATERAL



PARTS LIST				
ITEM		QTY	PART NUMBER	DESCRIPTION
1		2	Bloque de elevación	
2		1	Chumacera radial	
3		1	Motor	
4		2	AS 1237 - 12 mm	Arandelas
5		1	Chaveta eje-polea motriz	Chaveta de 50.8 x 15.9 x 11.1 mm
6		1	Polea motriz	
7		1	Eje motor-polea motriz	
8		2	Bolt GB/T 29.1 M12 x 90	Pernos
Denominación Ensamble del motor-eje-polea				ESCALA 2:5
	FECHA	NOMBRE	CÓDIGO 2025-FC-E1.1	PESO 12.49 kg
DIBUJADO POR	19/03/25	Nicolás Ortiz		
REVISADO POR	24/03/25	Lorena Bejarano	REFERENCIA Ensamble general	USFQ
APROBADO POR	26/03/25	Alfredo Valarezo		



VISTA ISOMÉTRICA



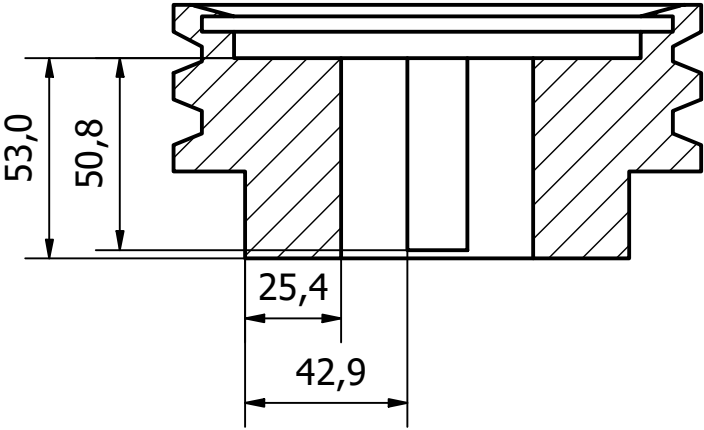
- Notas:
- Con el torno realizar los agujeros a la profundidad especificada.
 - Con la fresadora maquinar el chavetero externo.
 - Mediante brochado maquinar el chavetero interno.

TOLERANCIA ±0.5 mm			Denominación Eje motor-polea motriz	ESCALA 1:1
DIBUJADO POR	FECHA	NOMBRE	MATERIAL Acero AISI 1018	CÓDIGO 2025-FC-E1.2
REVISADO POR	24/03/25	Lorena Bejarano		
APROBADO POR	26/03/25	Alfredo Valarezo	REFERENCIA Ensamble del motor-eje-polea	USFQ

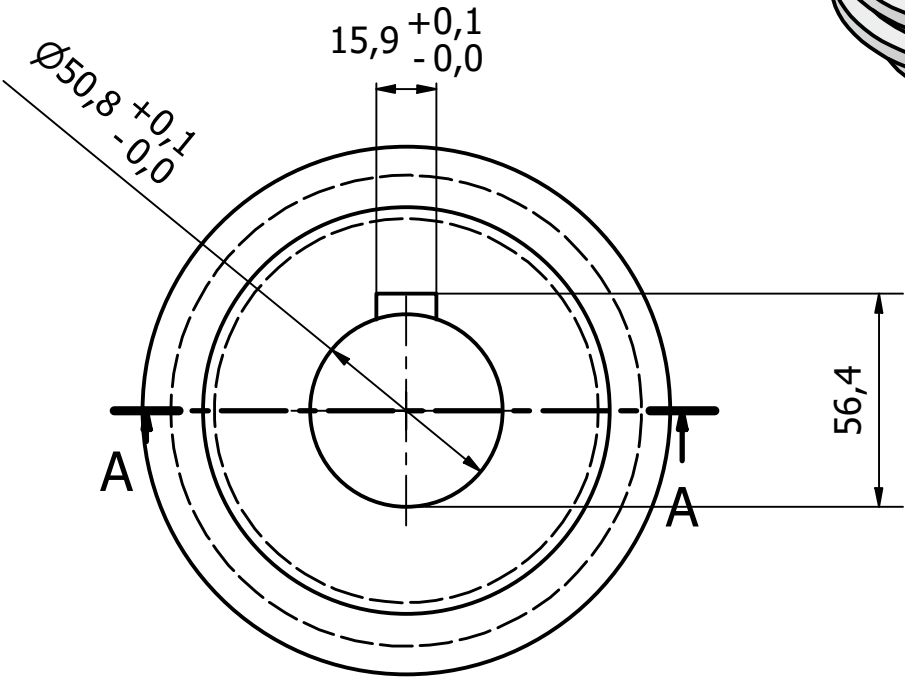
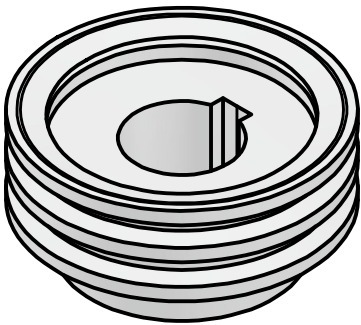
- Notas:
- Mediante brochado maquinar el chavetero interno.

N5

SECCIÓN A-A (1 : 2)

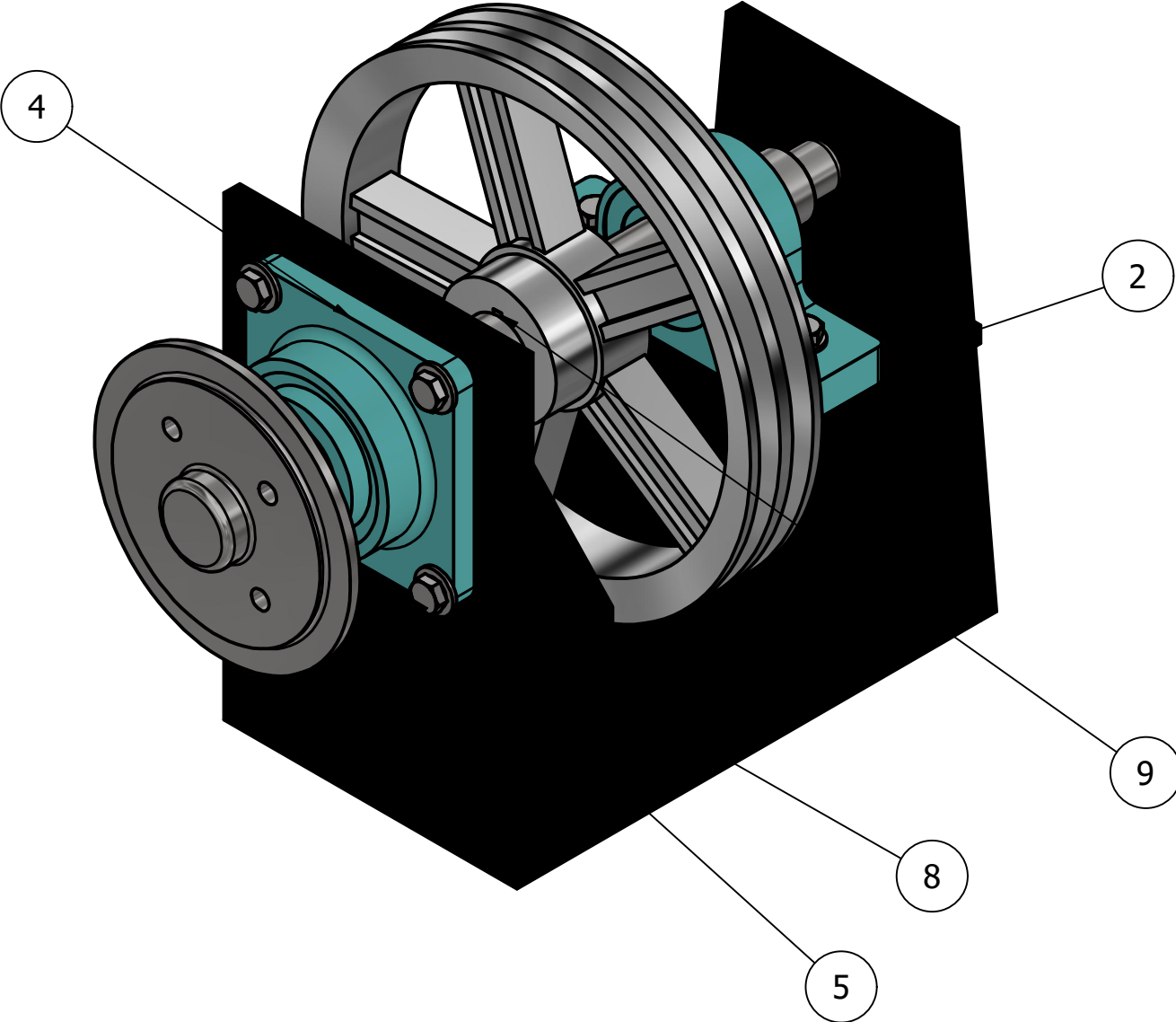


VISTA ISOMÉTRICA
ESCALA 1:3

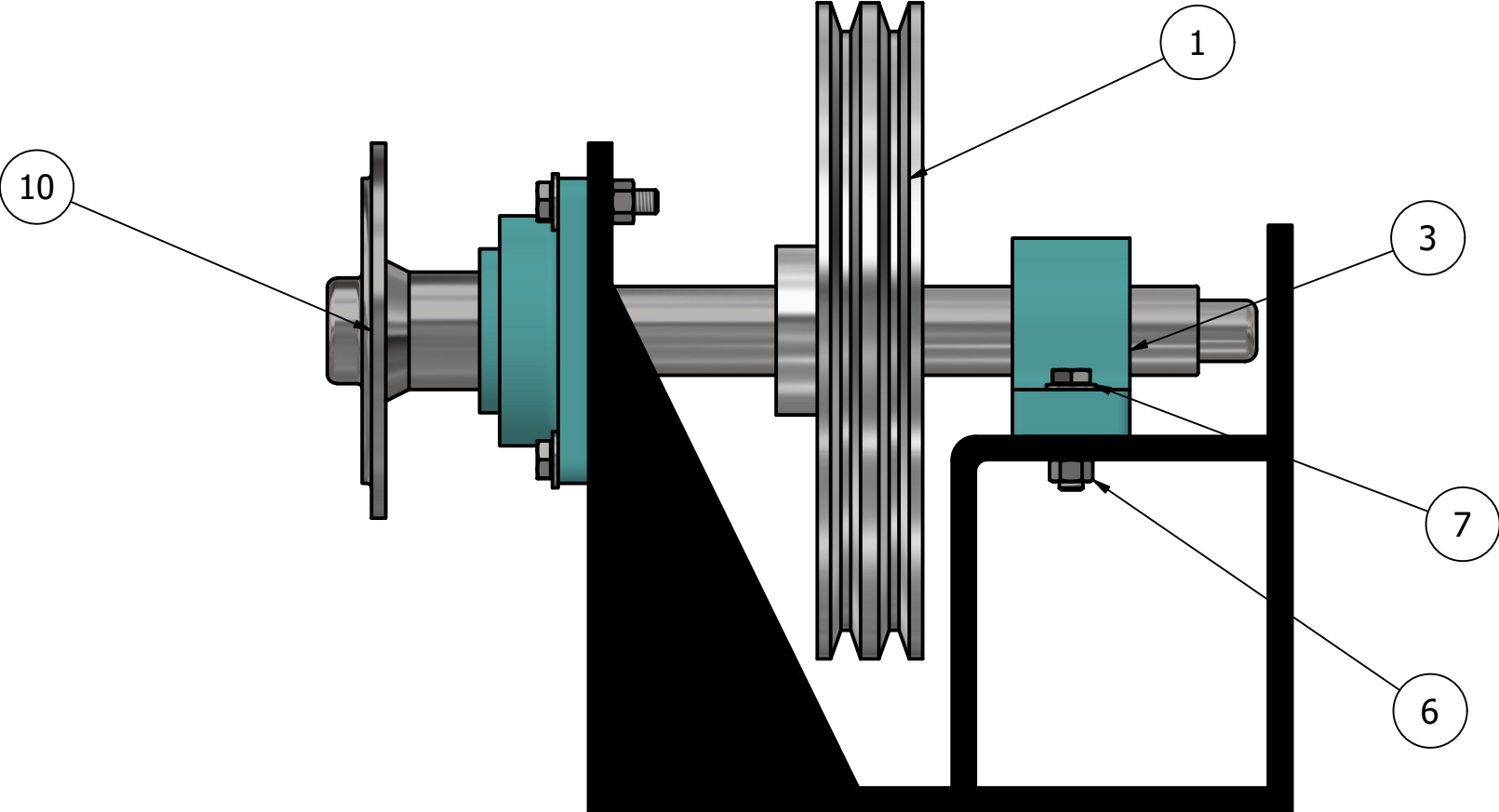


TOLERANCIA ±0.5 mm			Denominación Polea motriz	ESCALA 1:2
	FECHA	NOMBRE	MATERIAL Aluminio (Ø4.5" x 2 canales para banda tipo A)	CÓDIGO 2025-FC-E1.3
DIBUJADO POR	25/03/25	Jackson Alcívar		
REVISADO POR	25/03/25	Lorena Bejarano	REFERENCIA Ensamble del motor-eje-polea	USFQ
APROBADO POR	26/03/25	Alfredo Valarezo		

VISTA ISOMÉTRICA

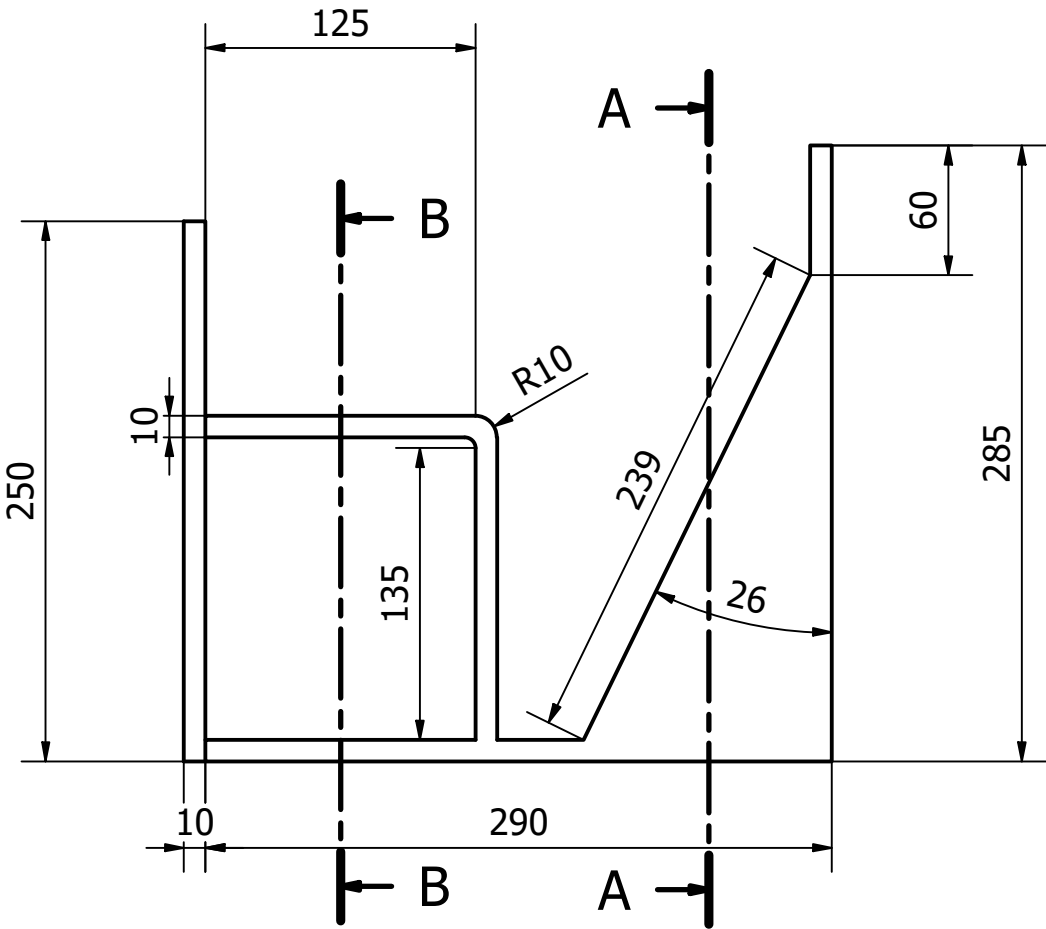
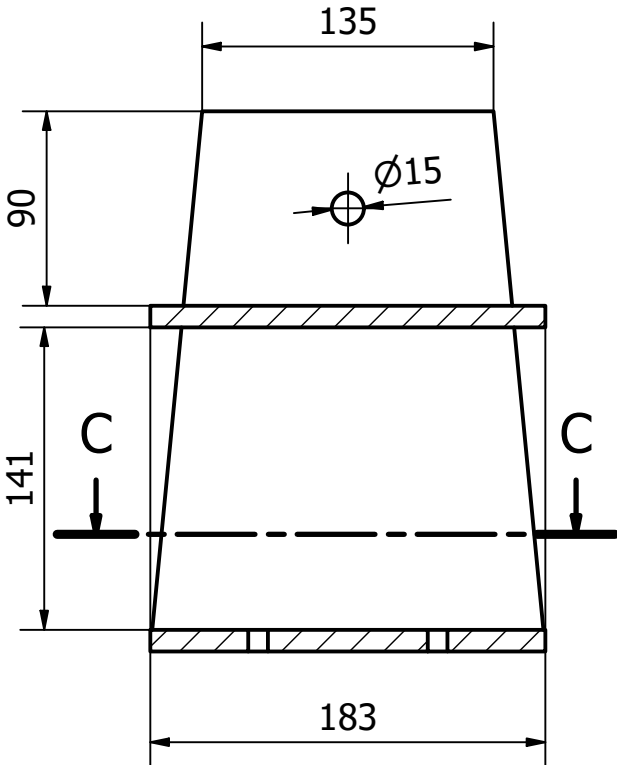


VISTA LATERAL

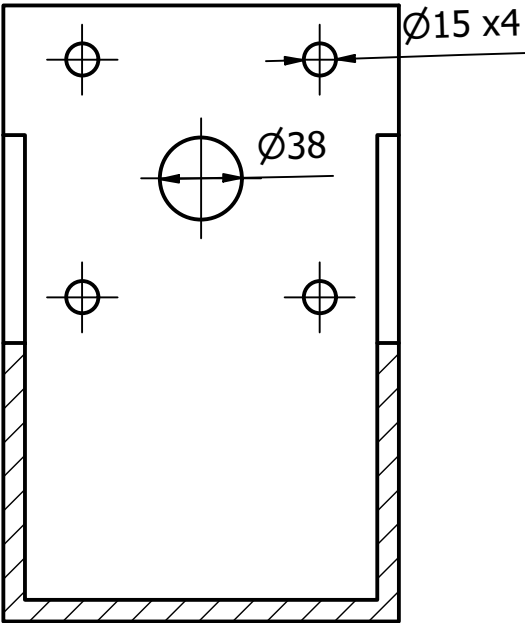


PARTS LIST				
ITEM		QTY	PART NUMBER	DESCRIPTION
1		1	Polea conducida	
2		1	Armadura	
3		1	Chumacera radial	
4		1	Chumacera axial	
5		6	AS 1110 - M10 x 45	Pernos
6		6	ANSI B18.2.4.2M - M10x1,5	Tuercas
7		2	AS 1237 - 10 mm	Arandelas
8		4	AS 1237 - 12 mm	Arandelas
9		1	Chaveta eje-polea conducida	Chaveta de 55 x 5 x 5 mm
10		1	Eje polea conducida-mandril	
Denominación Ensamble del variador de velocidades				ESCALA 1:13
	FECHA	NOMBRE	CÓDIGO 2025-FC-V1.1	PESO 29.49 kg
DIBUJADO POR	19/03/25	Nicolás Ortiz		
REVISADO POR	24/03/25	Lorena Bejarano	REFERENCIA Ensamble general	USFQ
APROBADO POR	26/03/25	Alfredo Valarezo		

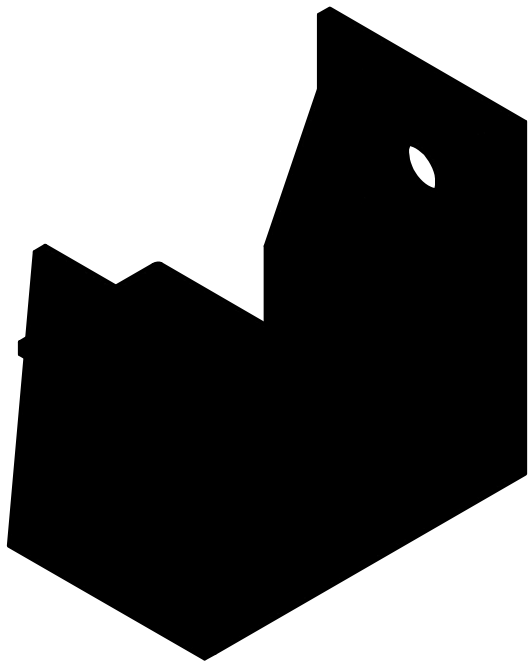
SECCIÓN B-B (2:7)



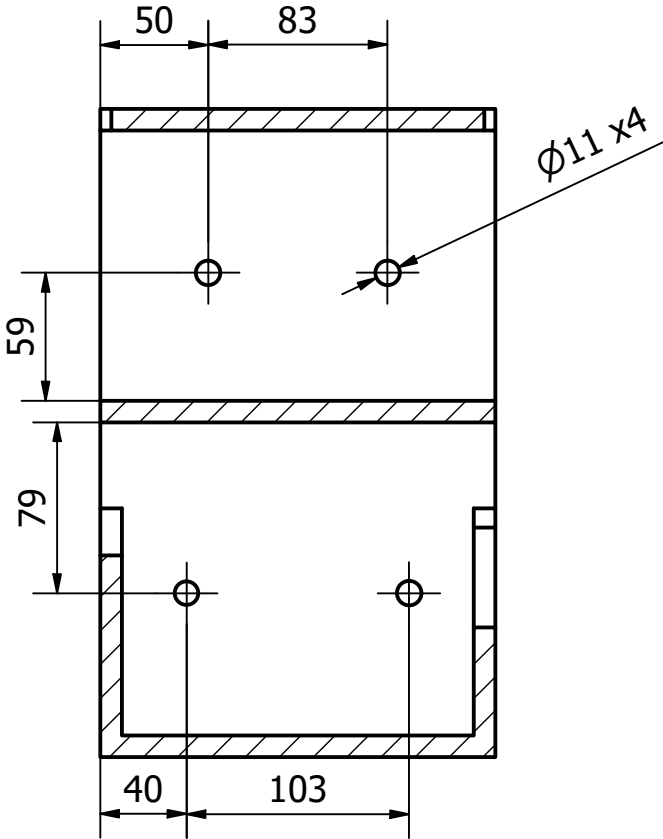
SECCIÓN A-A (2:7)



VISTA ISOMÉTRICA
ESCALA 1:5



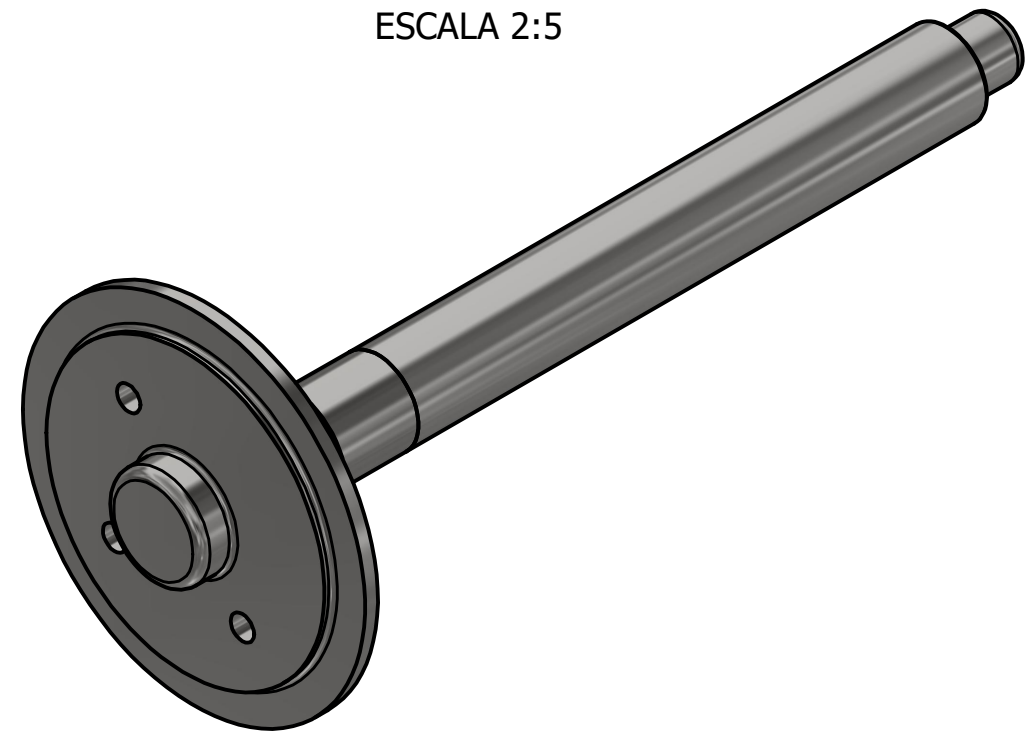
SECCIÓN C-C (2:7)



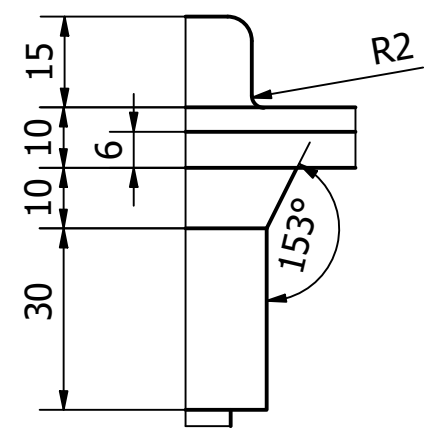
- Nota:
- Con soldadura unir las caras.
 - Mediante fresado realizar los agujeros correspondientes.

TOLERANCIA ±1 mm			Denominación Armadura	ESCALA 2:7
DIBUJADO POR	FECHA	NOMBRE	MATERIAL Acero Negro	CÓDIGO 2025-FC-V1.2
REVISADO POR	24/03/25	Lorena Bejarano		
APROBADO POR	26/03/25	Alfredo Valarezo	REFERENCIA Ensamble del variador de velocidades	USFQ

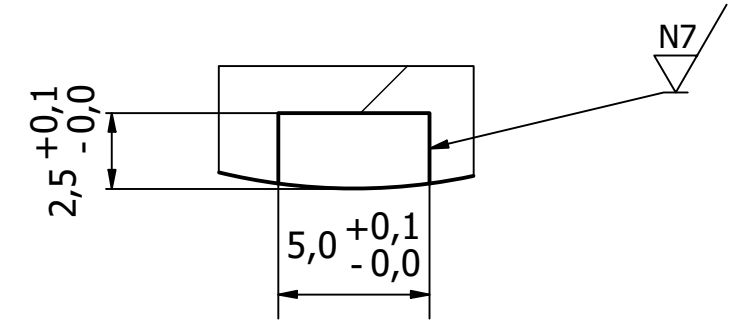
VISTA ISOMÉTRICA
ESCALA 2:5



DETALLE C (4 : 5)

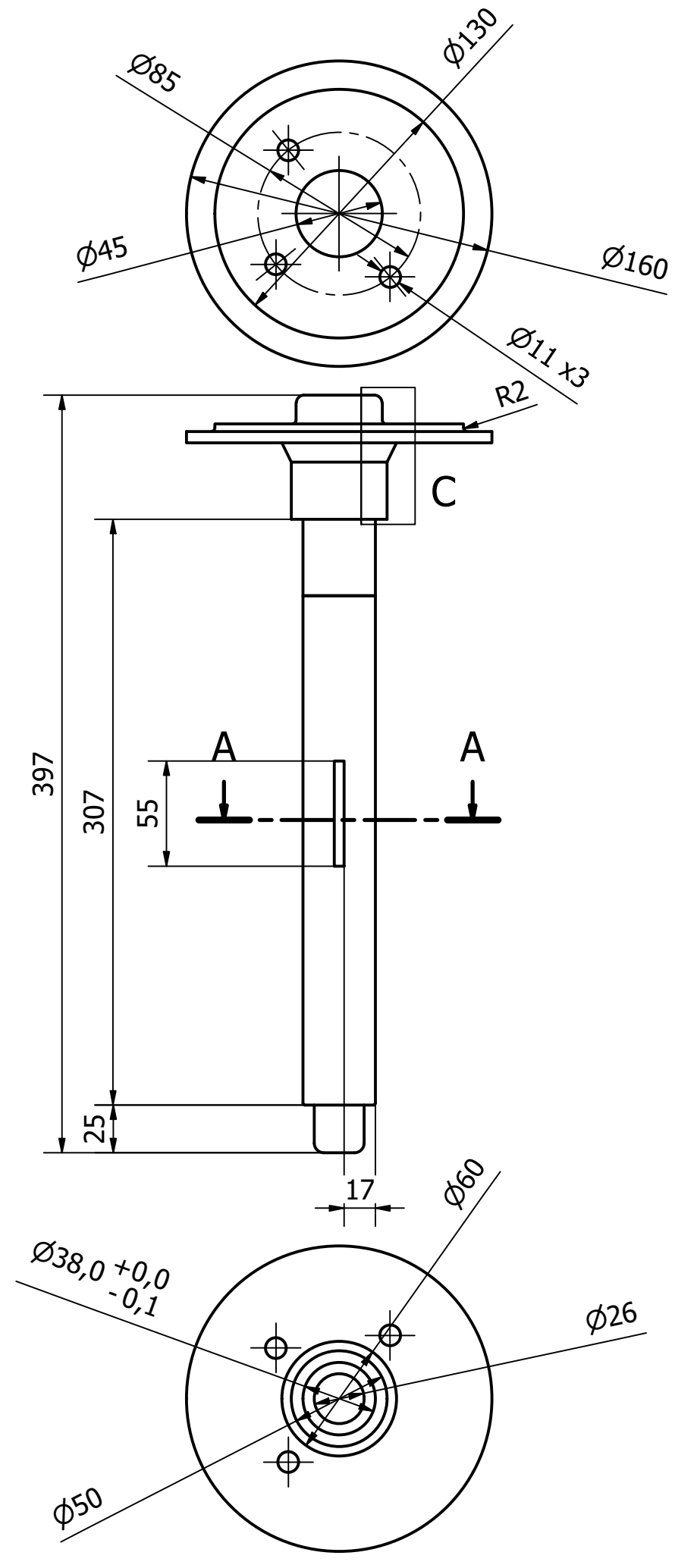


DETALLE B (4 : 1)

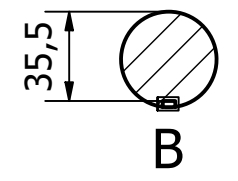


Notas:

- Con el torno realizar la forma planteada.
- Con la fresadora maquinar el chavetero externo.
- Mediante fresado realizar los agujeros correspondientes.



SECCIÓN A-A (1 : 3)



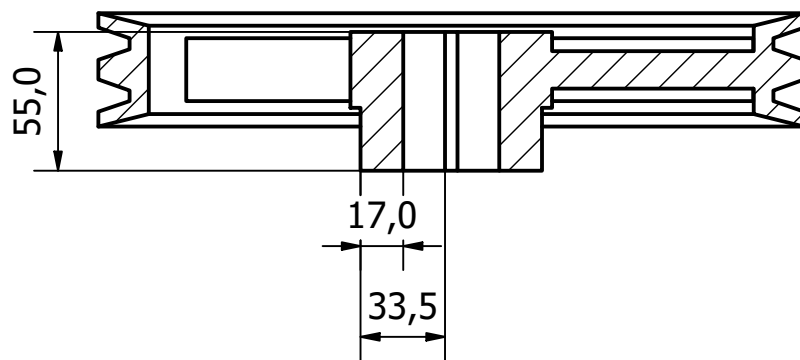
TOLERANCIA ±0.5 mm			Denominación Eje polea conducida-mandril	ESCALA 1:3
DIBUJADO POR	FECHA	NOMBRE	MATERIAL Acero AISI 1018	CÓDIGO 2025-FC-V1.3
REVISADO POR	24/03/25	Lorena Bejarano		
APROBADO POR	26/03/25	Alfredo Valarezo	REFERENCIA Ensamble del variador de velocidades	USFQ

Notas:

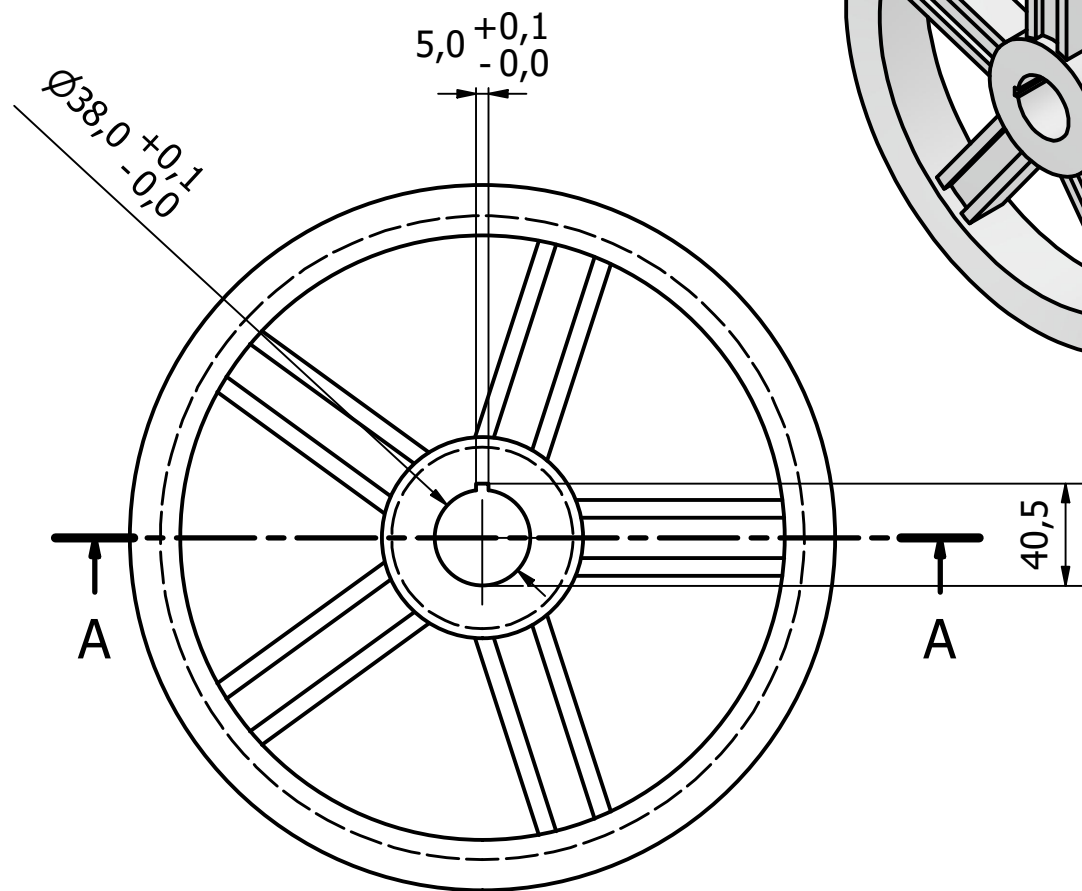
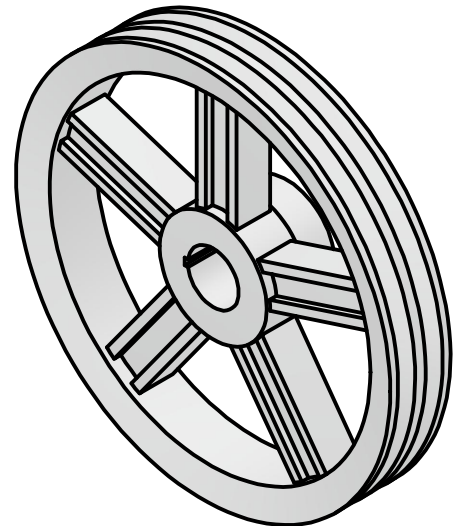
- Mediante brochado maquinar el chavetero interno.

N5

SECCIÓN A-A (1 : 3)

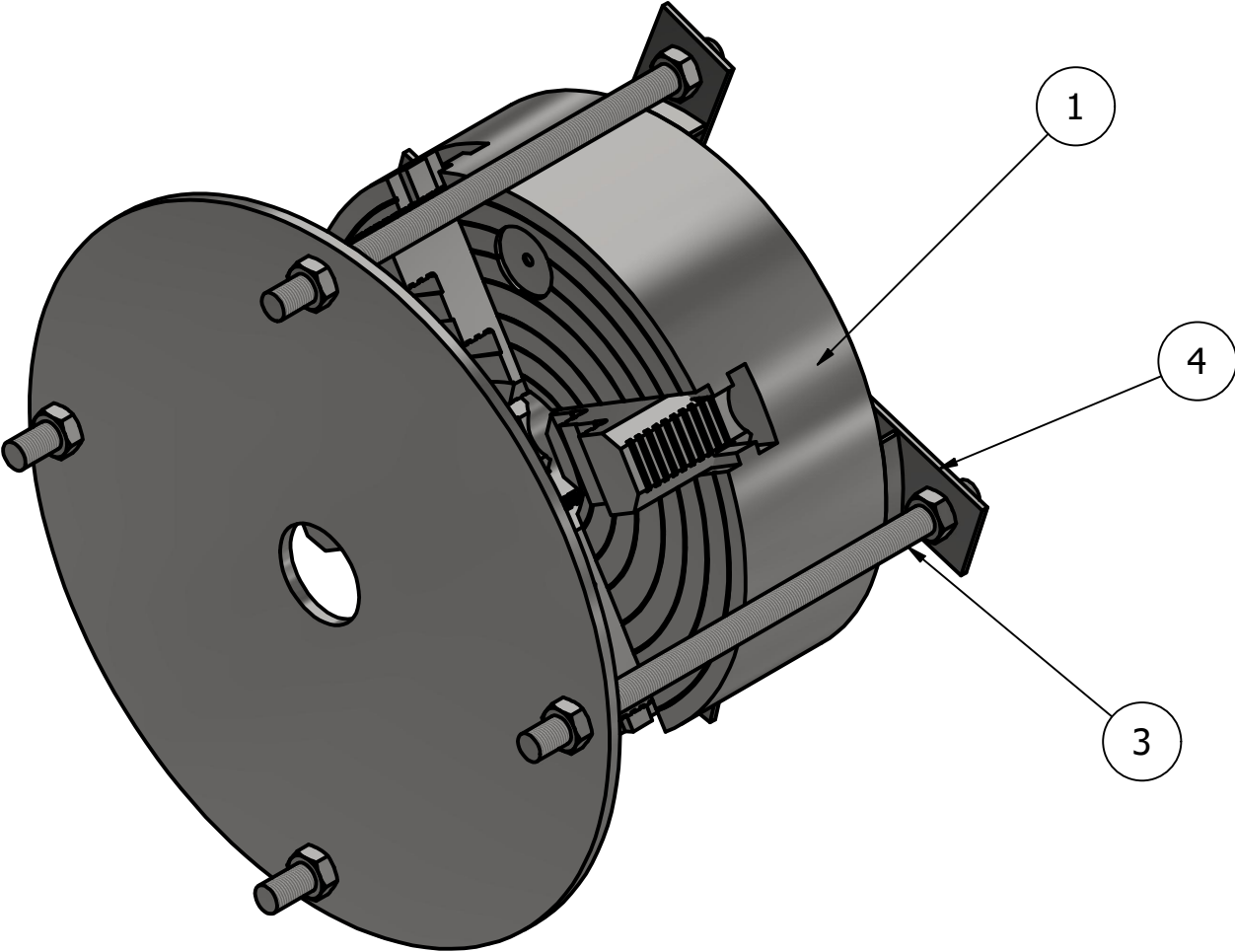


VISTA ISOMÉTRICA
ESCALA 1:4

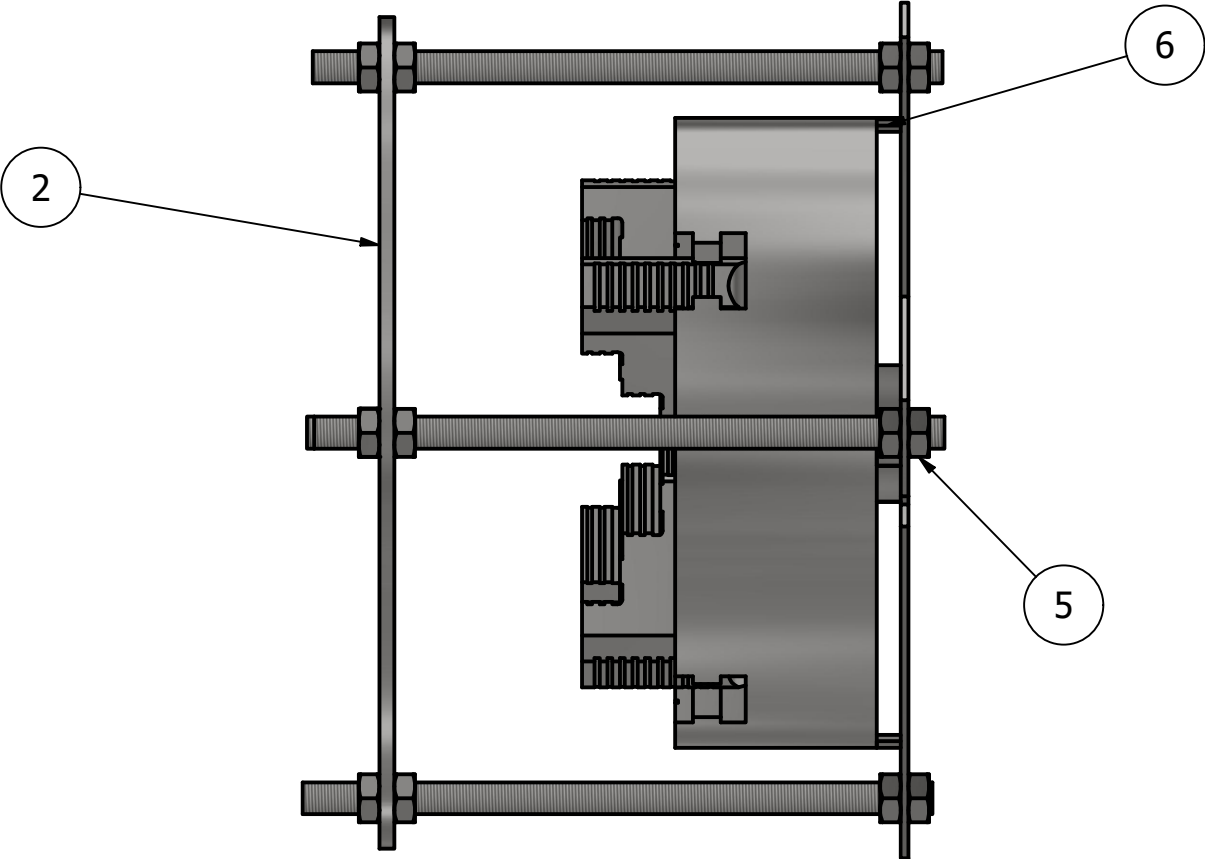


TOLERANCIA ±0.5 mm			Denominación Polea conducida	ESCALA 1:3
	FECHA	NOMBRE	MATERIAL Aluminio (Ø11" x 2 canales para banda tipo A)	CÓDIGO 2025-FC-V1.4
DIBUJADO POR	19/03/25	Nicolás Ortiz		
REVISADO POR	24/03/25	Lorena Bejarano	REFERENCIA Ensamble del variador de velocidades	USFQ
APROBADO POR	26/03/25	Alfredo Valarezo		

VISTA ISOMÉTRICA



VISTA LATERAL



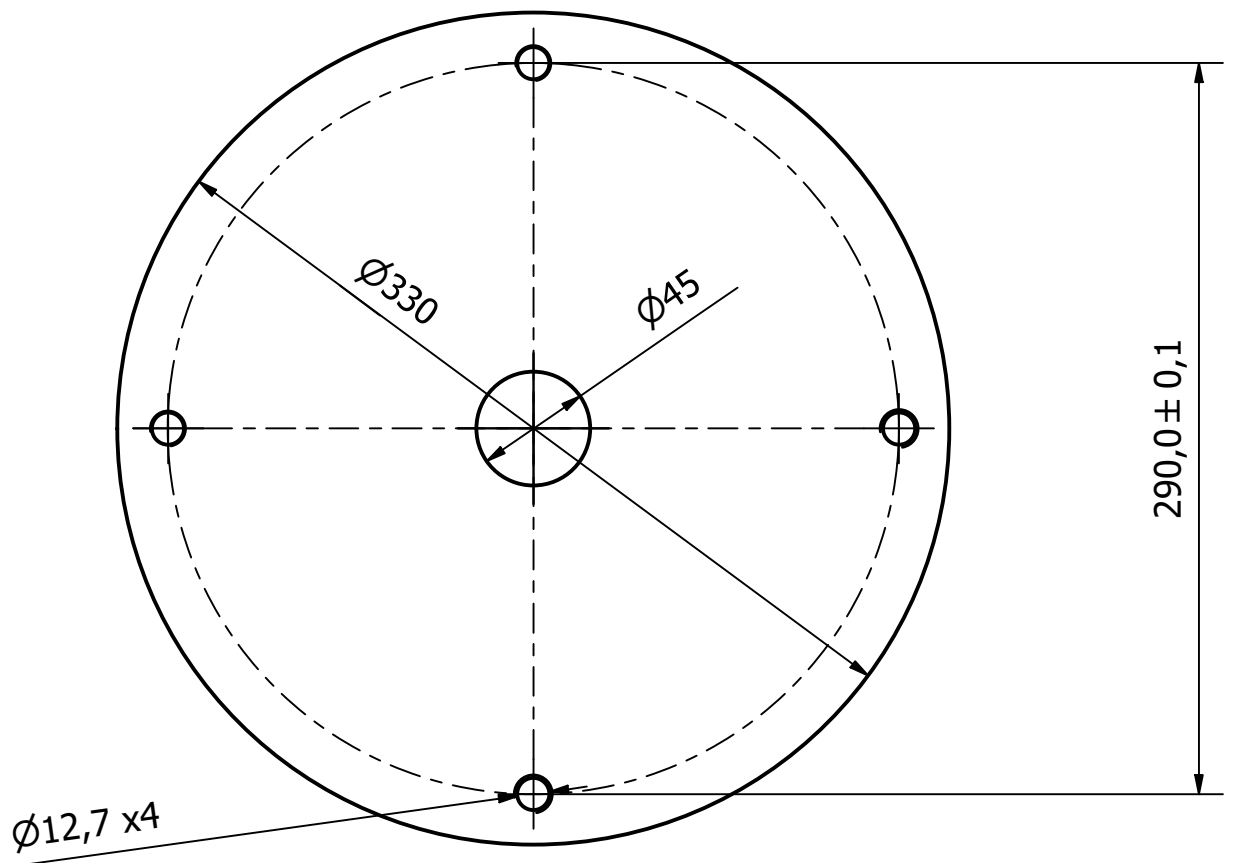
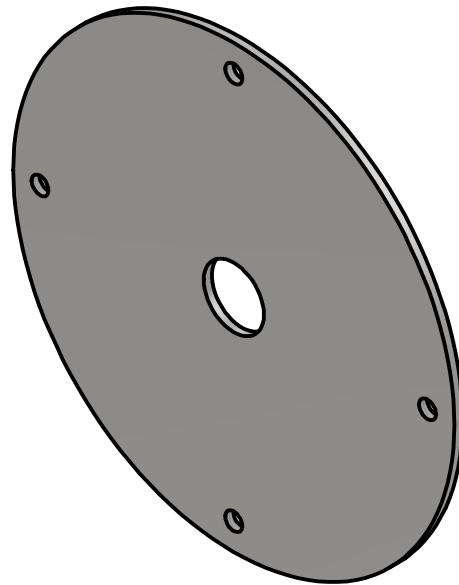
PARTS LIST				
ITEM		QTY	PART NUMBER	DESCRIPTION
1		1	Mandril	
2		1	Plancha de sujeción	
3		4	Barra roscada	
4		4	Soporte de la barra roscada	
5		16	AS 2465 - 1/2 UNF	Tuercas
6		4	Tope para el soporte	
Denominación Ensamble del sistema de sujeción				ESCALA 1:3
	FECHA	NOMBRE	CÓDIGO 2025-FC-S1.1	PESO 34.87 kg
DIBUJADO POR	19/03/25	Nicolás Ortiz	REFERENCIA Ensamble general	USFQ
REVISADO POR	24/03/25	Lorena Bejarano		
APROBADO POR	26/03/25	Alfredo Valarezo		

Nota:

- Realizar corte (láser) con las dimensiones indicadas y acabado N9.
- Realizar perforación central (n35) con las distancias indicadas y dentro de la tolerancia de 0.1 mm.
- Realizar agujeros siguiendo las respectivas medidas.

VISTA ISOMÉTRICA
ESCALA 1:4

N9



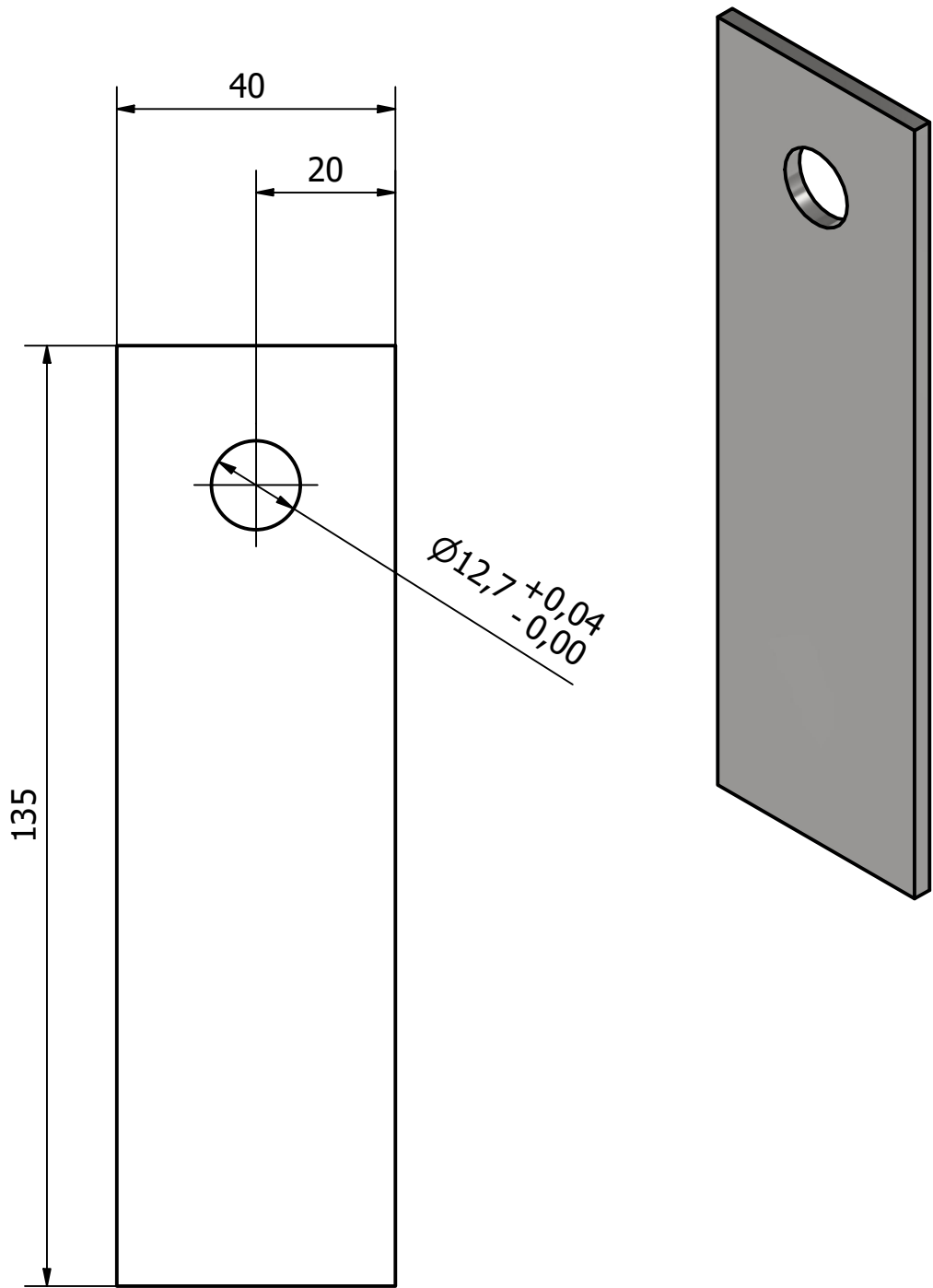
TOLERANCIA ±0.5 mm			Denominación Plancha de sujeción	ESCALA 1:3
	FECHA	NOMBRE	MATERIAL Acero inoxidable AISI 430 (Plancha con espesor de 6 mm)	CÓDIGO 2025-FC-S1.2
DIBUJADO POR	19/03/25	Nicolás Ortiz		
REVISADO POR	24/03/25	Lorena Bejarano	REFERENCIA Ensamble del sistema de sujeción	USFQ
APROBADO POR	26/03/25	Alfredo Valarezo		

Nota:

- Realizar corte (láser) mediante las dimensiones indicadas con acabado N9.
- Mediante fresado realizar los agujeros.
- Realizar 4 unidades de la pieza.

N9

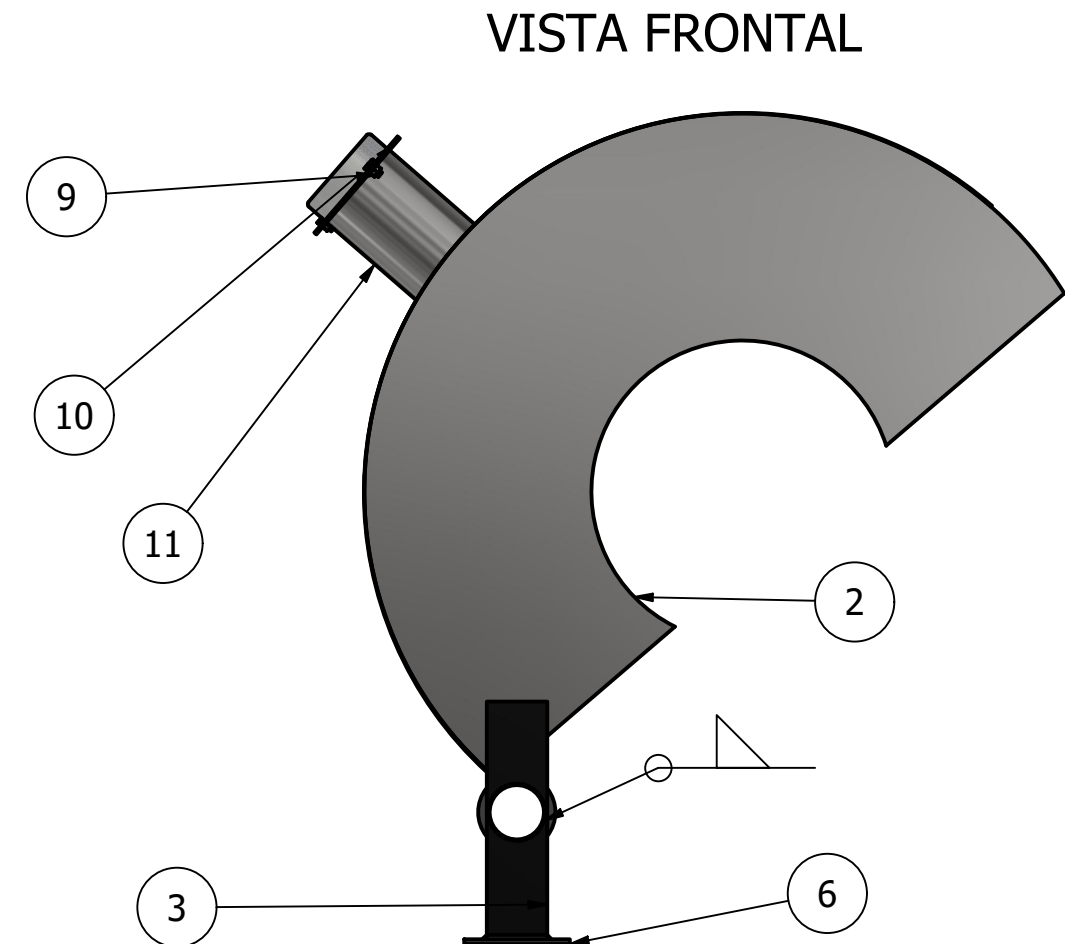
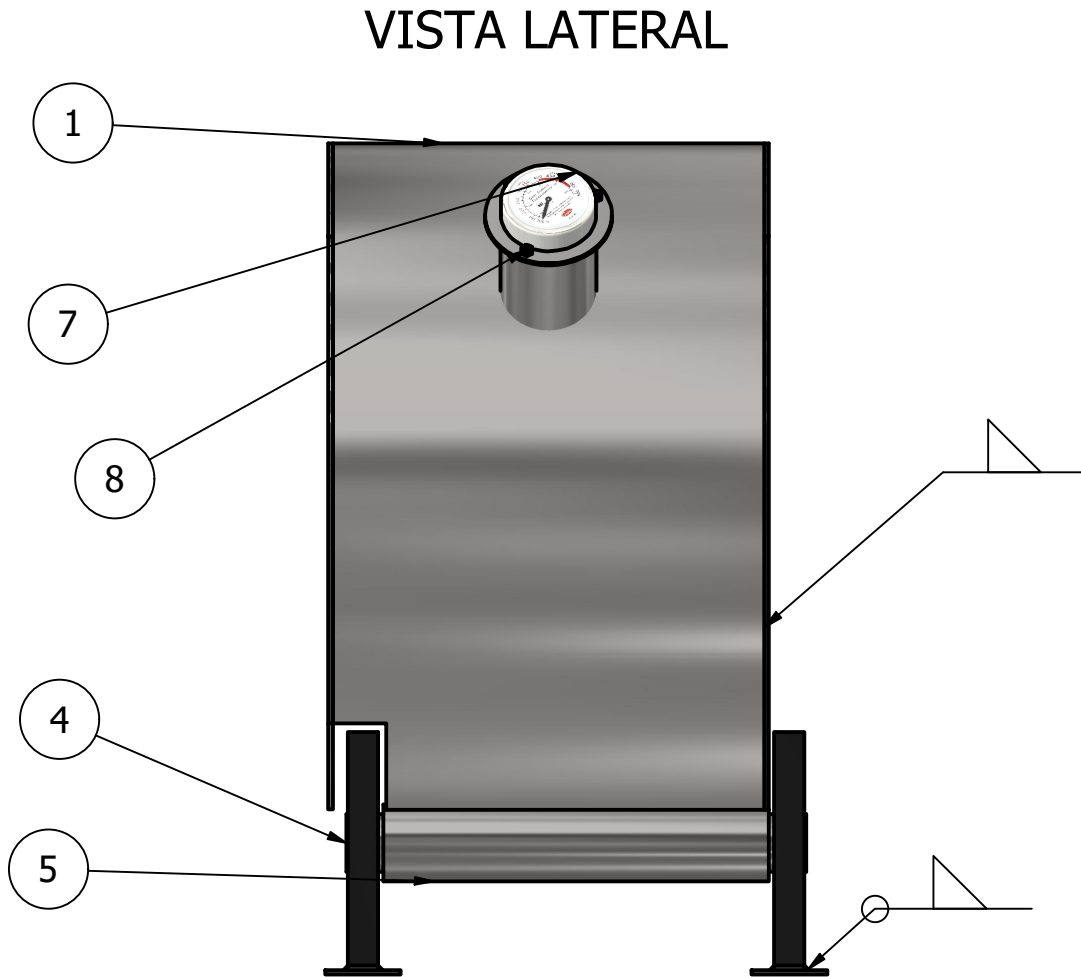
VISTA ISOMÉTRICA



TOLERANCIA ±0.5 mm			Denominación Soporte de la barra roscada	ESCALA 1:1
	FECHA	NOMBRE	MATERIAL Acero inoxidable AISI 430 (Chapa con espesor de 3 mm)	CÓDIGO 2025-FC-S1.3
DIBUJADO POR	17/03/25	Nicolás Ortiz		
REVISADO POR	24/03/25	Lorena Bejarano	REFERENCIA Ensamble del sistema de sujeción	USFQ
APROBADO POR	26/03/25	Alfredo Valarezo		

Nota:

- Las juntas se realizan mediante soldadura MIG.

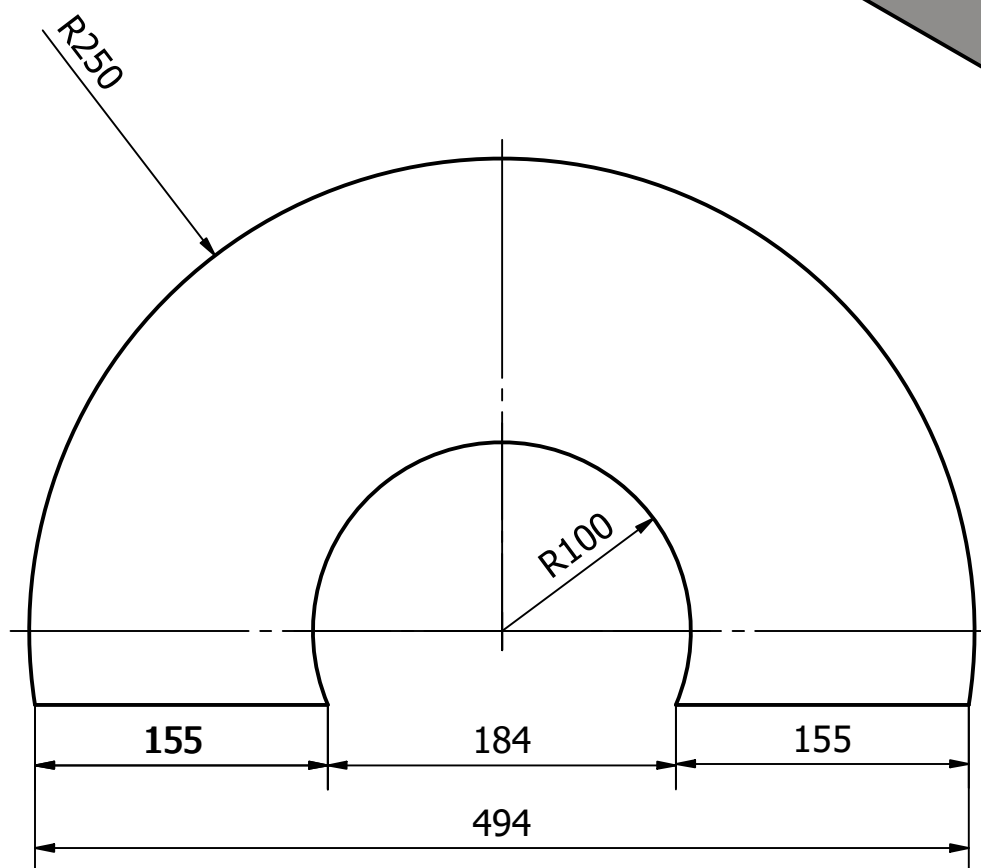
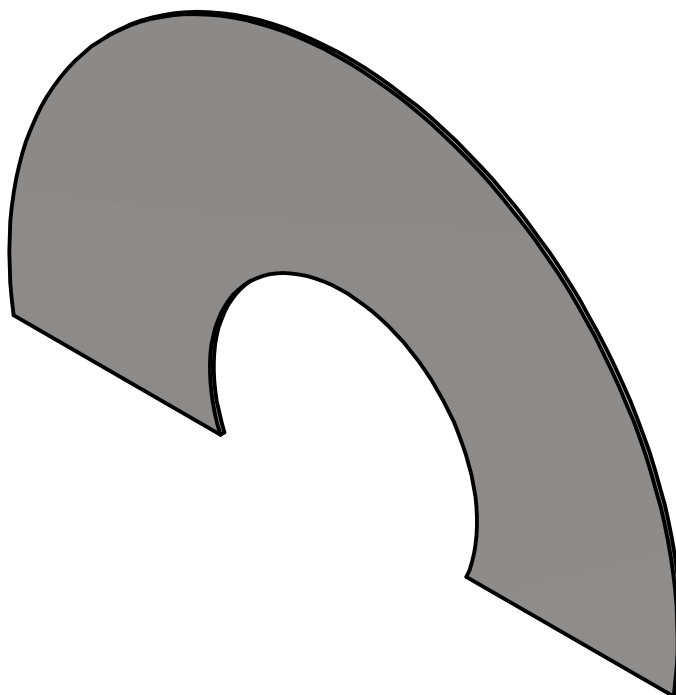


PARTS LIST				
ITEM	QTY	PART NUMBER		DESCRIPTION
1	1	Cubierta		
2	2	Tapa lateral de la cubierta		
3	2	Perfil soporte del eje		
4	1	Tubo eje		Tubo de 304 mm de largo y 1.5" de diámetro.
5	1	Tubo soporte		
6	2	Base para el soporte del eje		
7	1	Termómetro		
8	3	Bolt GB/T 29.2 M4 x 8		Pernos
9	3	ANSI B18.2.4.2M - M4x0,7		Tuercas
10	1	Chapa de soporte para el termómetro		
11	1	Tubo para el termómetro		Tubo de 74 mm de largo y 2.5" de diámetro
Denominación Ensamble de la cubierta de seguridad				ESCALA 1:5
	FECHA	NOMBRE	CÓDIGO 2025-FC-T1.1	PESO 7.85 kg
DIBUJADO POR	19/03/25	Nicolás Ortiz		
REVISADO POR	24/03/25	Lorena Bejarano	REFERENCIA Ensamble general	USFQ
APROBADO POR	26/03/25	Alfredo Valarezo		

Nota:

- Realizar corte (láser) curvo con las dimensiones indicadas y acabado N9.
- Remover aristas vivas.
- Realizar 2 unidades de la geometría.

VISTA ISOMÉTRICA



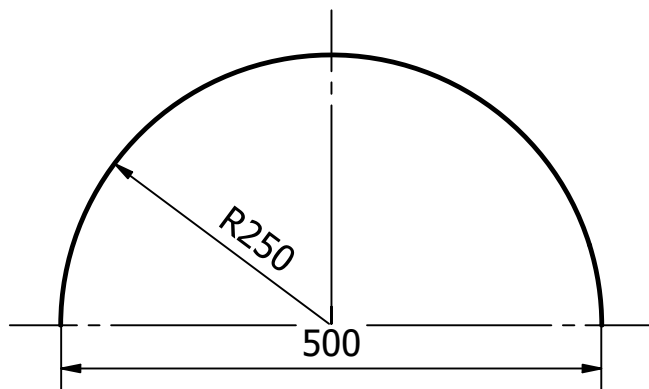
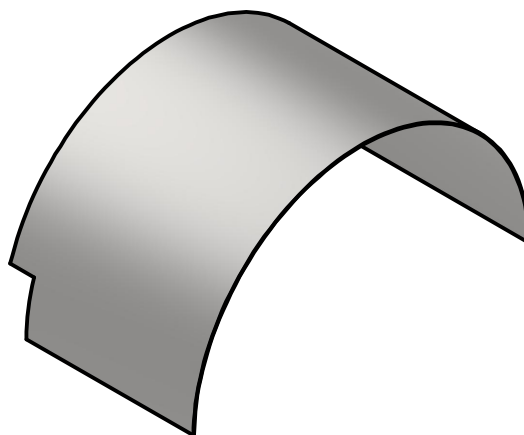
TOLERANCIA $\pm 1 \text{ mm}$			Denominación Tapa lateral de la cubierta	ESCALA 1:4
	FECHA	NOMBRE	MATERIAL Acero inoxidable AISI 430 (Chapa con espesor de 3 mm)	CÓDIGO 2025-FC-T1.2
DIBUJADO POR	17/03/25	Nicolás Ortiz		
REVISADO POR	24/03/25	Lorena Bejarano	REFERENCIA Ensamble de la cubierta de seguridad	USFQ
APROBADO POR	26/03/25	Alfredo Valarezo		

Nota:

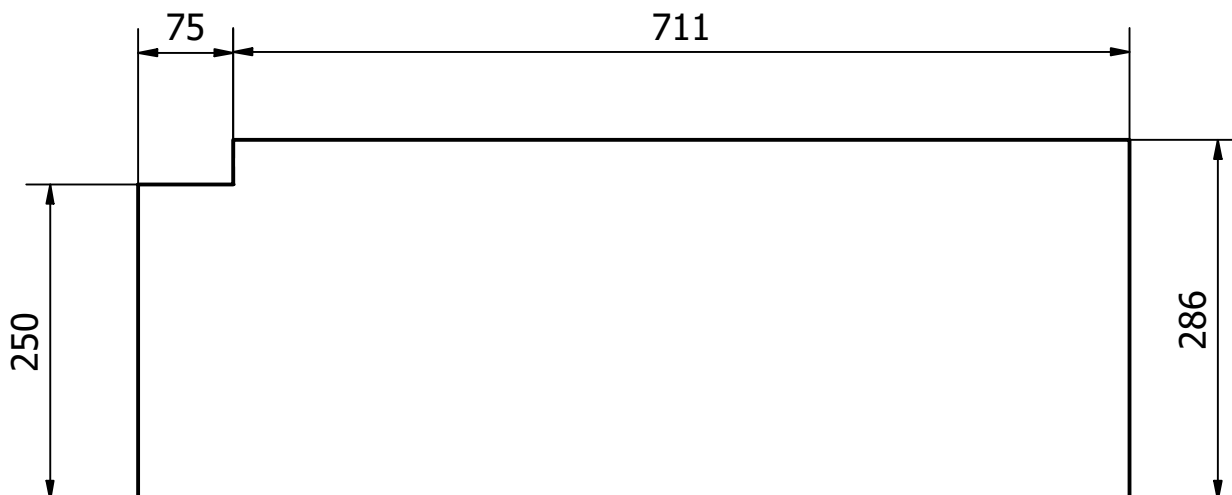
- Realizar corte (láser) mediante las dimensiones indicadas con acabado N9.
- Realizar doblado mediante rolado con un radio de curvatura de 250 mm.
- Remover aristas vivas.

N9

VISTA ISOMÉTRICA
ESCALA 1:8



VISTA SIN DOBLAR
ESCALA 1:6

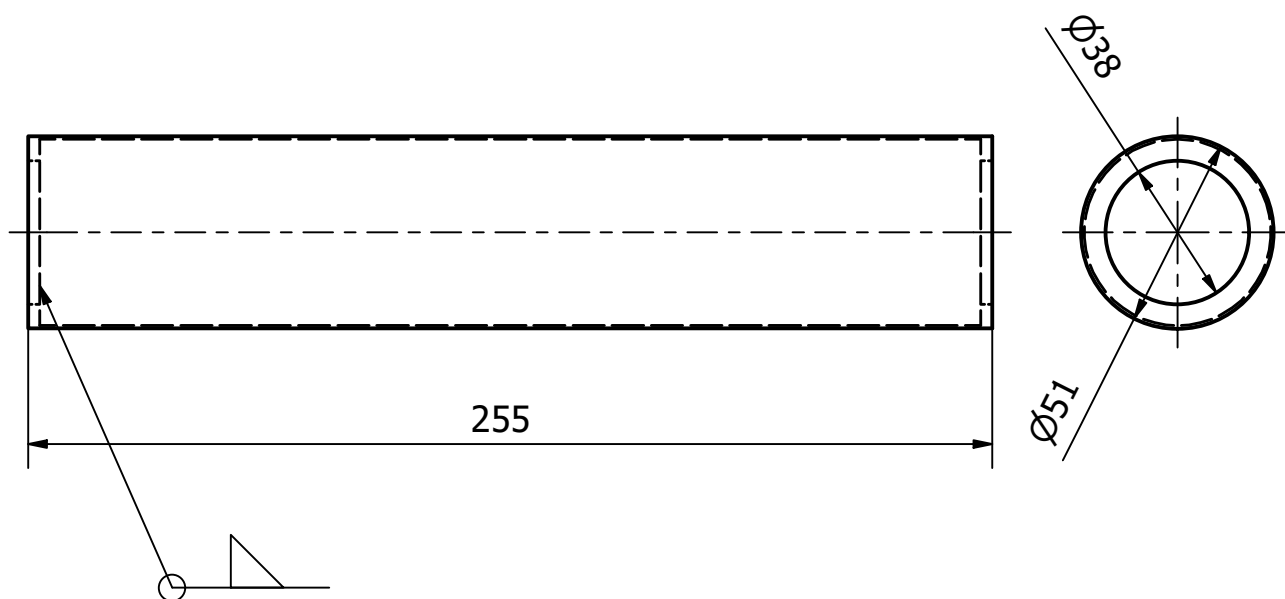
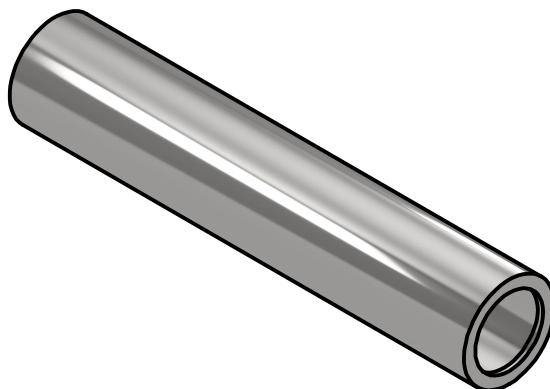


TOLERANCIA ±1 mm			Denominación Cubierta	ESCALA 1:5
	FECHA	NOMBRE	MATERIAL Acero inoxidable AISI 430 (Chapa con espesor de 3 mm)	CÓDIGO 2025-FC-T1.3
DIBUJADO POR	19/03/25	Nicolás Ortiz		
REVISADO POR	24/03/25	Lorena Bejarano	REFERENCIA Ensamble de la cubierta de seguridad	USFQ
APROBADO POR	26/03/25	Alfredo Valarezo		

Nota:

- Cortar con molador el tubo a las dimensiones especificadas
- De ser necesario corregir con esmerilado el corte.
- En ambos lados soldar en el interior un bocín liso.

VISTA ISOMÉTRICA

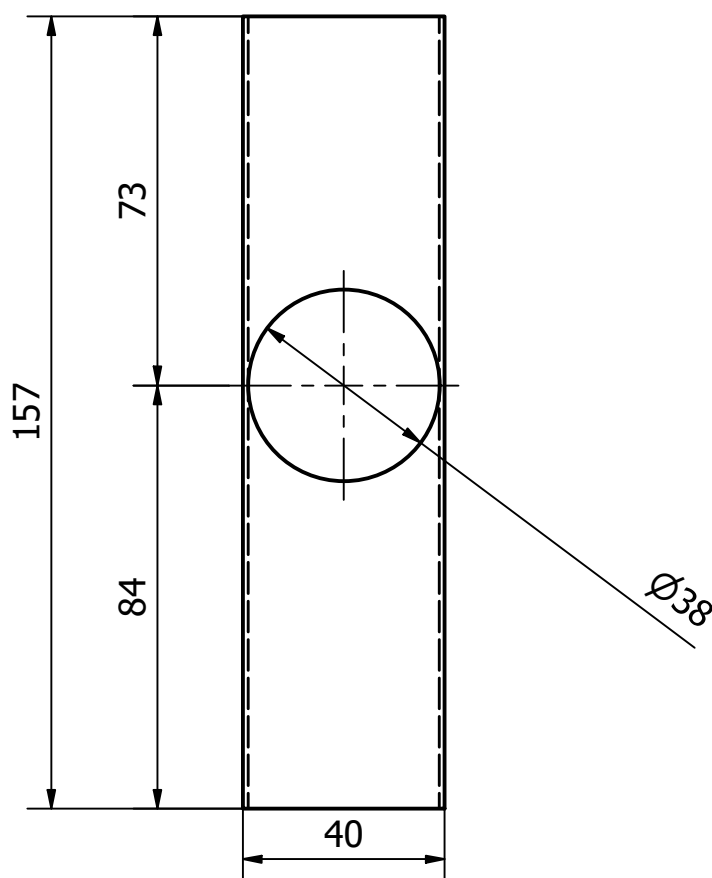
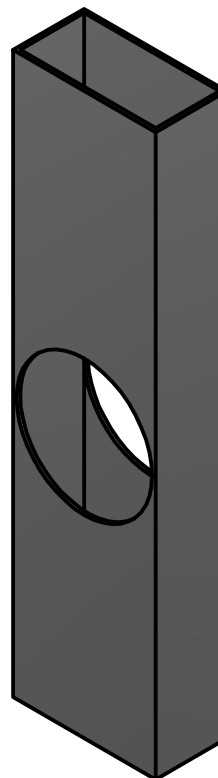


TOLERANCIA ±1 mm			Denominación Tubo soporte	ESCALA 1:2
	FECHA	NOMBRE	MATERIAL Acero inoxidable AISI 304	CÓDIGO 2025-FC-T1.4
DIBUJADO POR	19/03/25	Nicolás Ortiz		
REVISADO POR	24/03/25	Lorena Bejarano	REFERENCIA Ensamble de la cubierta de seguridad	USFQ
APROBADO POR	26/03/25	Alfredo Valarezo		

Nota:

- Realizar el corte con moladora sobre el perfil cuadrado.
- De ser necesario corregir el corte con esmerilado.
- Mediante fresado realizar el agujero.
- Realizar 2 unidades de la geometría.

VISTA ISOMÉTRICA

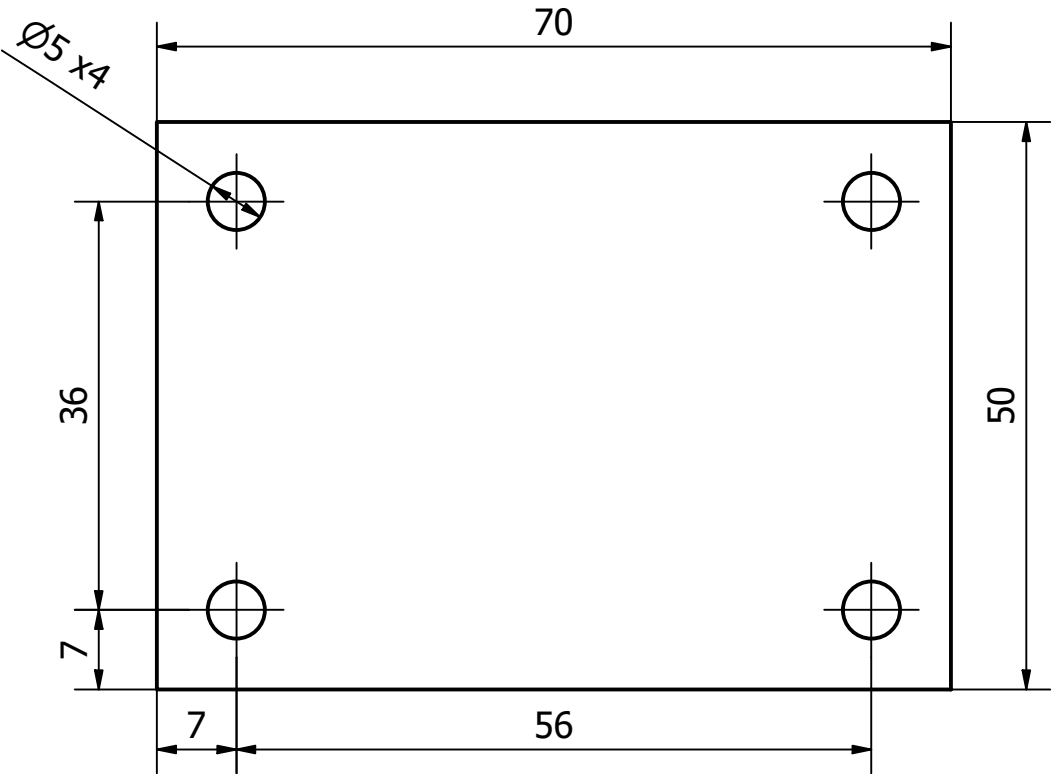
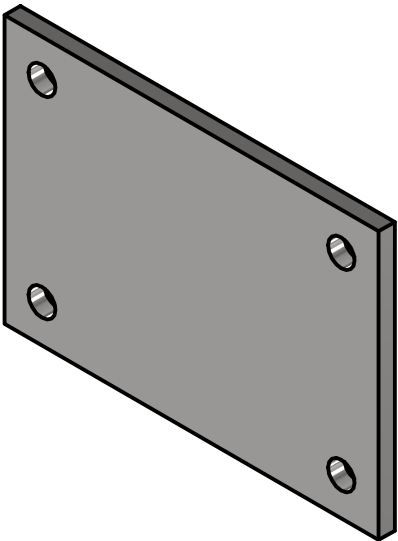


TOLERANCIA $\pm 1 \text{ mm}$			Denominación Perfil soporte del eje	ESCALA 2:3
	FECHA	NOMBRE	MATERIAL Acero estructural (20x40 mm)	CÓDIGO 2025-FC-T1.5
DIBUJADO POR	19/03/25	Nicolás Ortiz		
REVISADO POR	24/03/25	Lorena Bejarano	REFERENCIA Ensamble de la cubierta de seguridad	USFQ
APROBADO POR	26/03/25	Alfredo Valarezo		

Nota:

- Realizar corte (láser) mediante las dimensiones indicadas con acabado N10.

VISTA ISOMÉTRICA
ESCALA 1:1

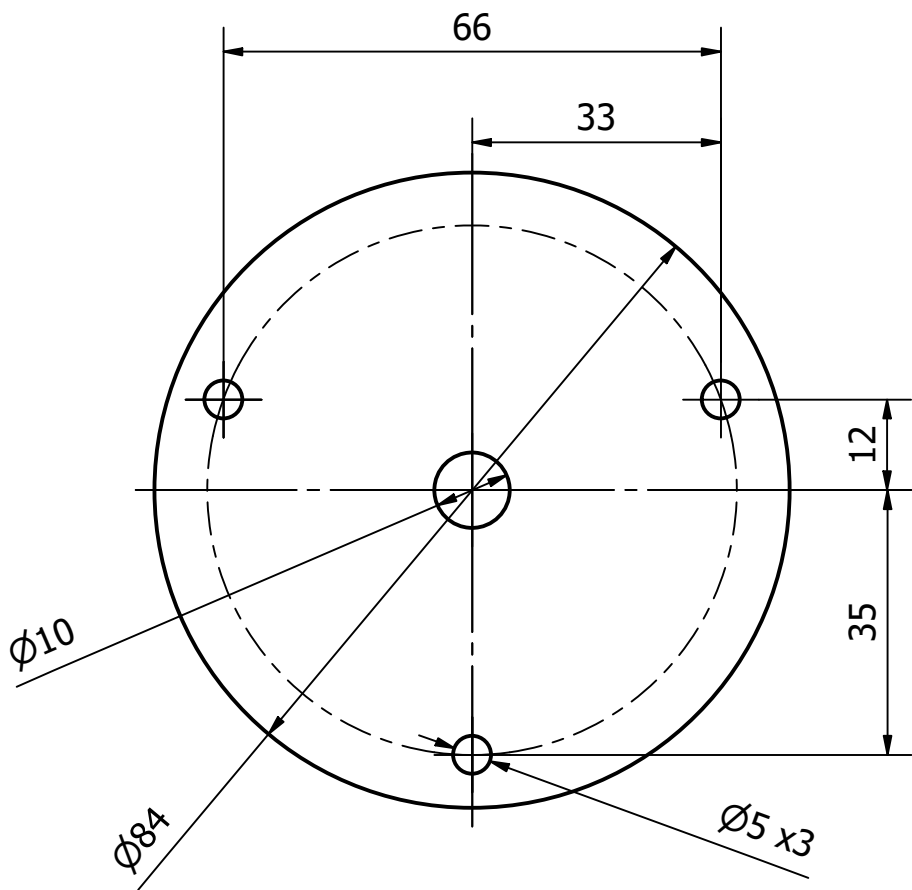
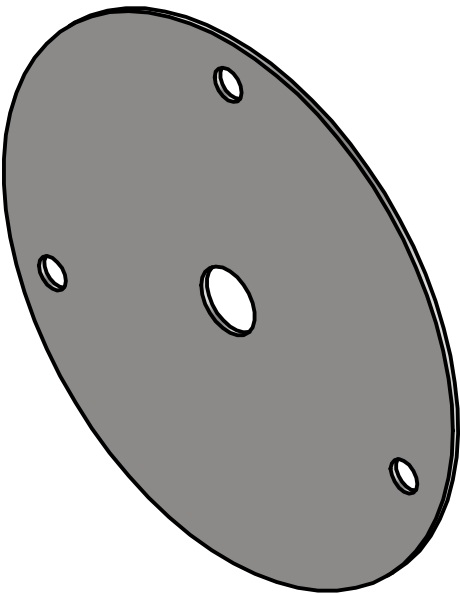


TOLERANCIA ±1 mm			Denominación Base para el soporte del eje	ESCALA 3:2
	FECHA	NOMBRE	MATERIAL Acero A-36 (Chapa con espesor de 3 mm)	CÓDIGO 2025-FC-T1.6
DIBUJADO POR	19/03/25	Nicolás Ortiz		
REVISADO POR	24/03/25	Lorena Bejarano	REFERENCIA Ensamble de la cubierta de seguridad	USFQ
APROBADO POR	26/03/25	Alfredo Valarezo		

Nota:

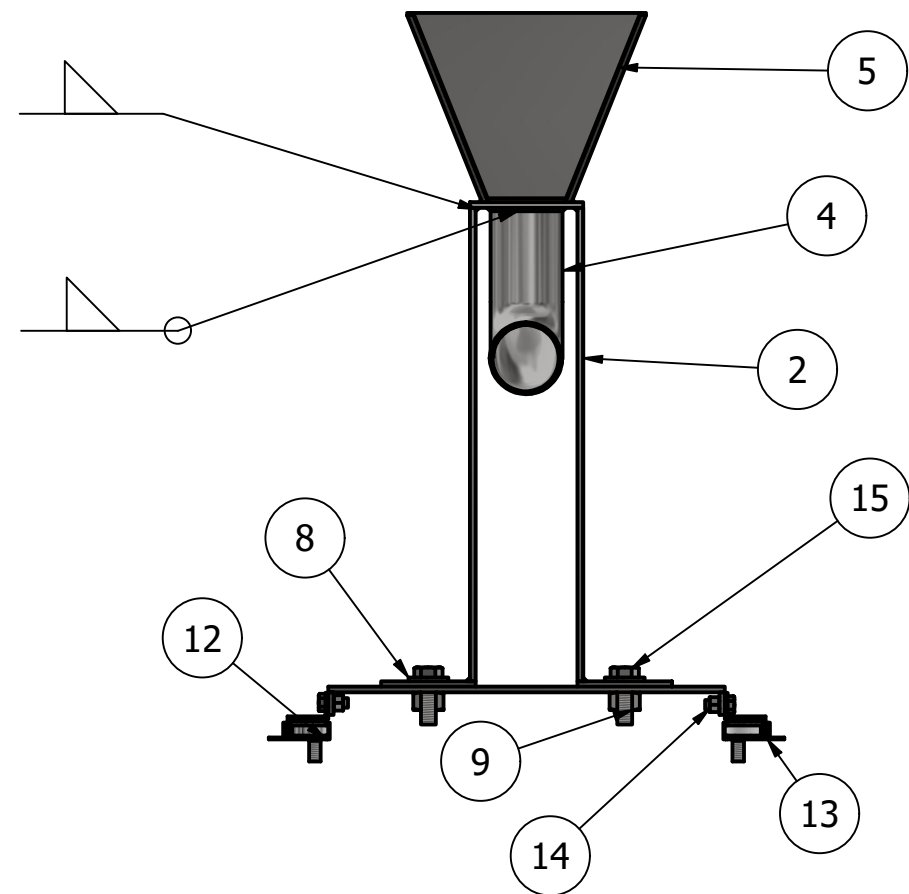
- Realizar corte (láser) con las dimensiones indicadas y acabado N9.
- Realizar agujeros siguiendo las medidas indicadas.

VISTA ISOMÉTRICA

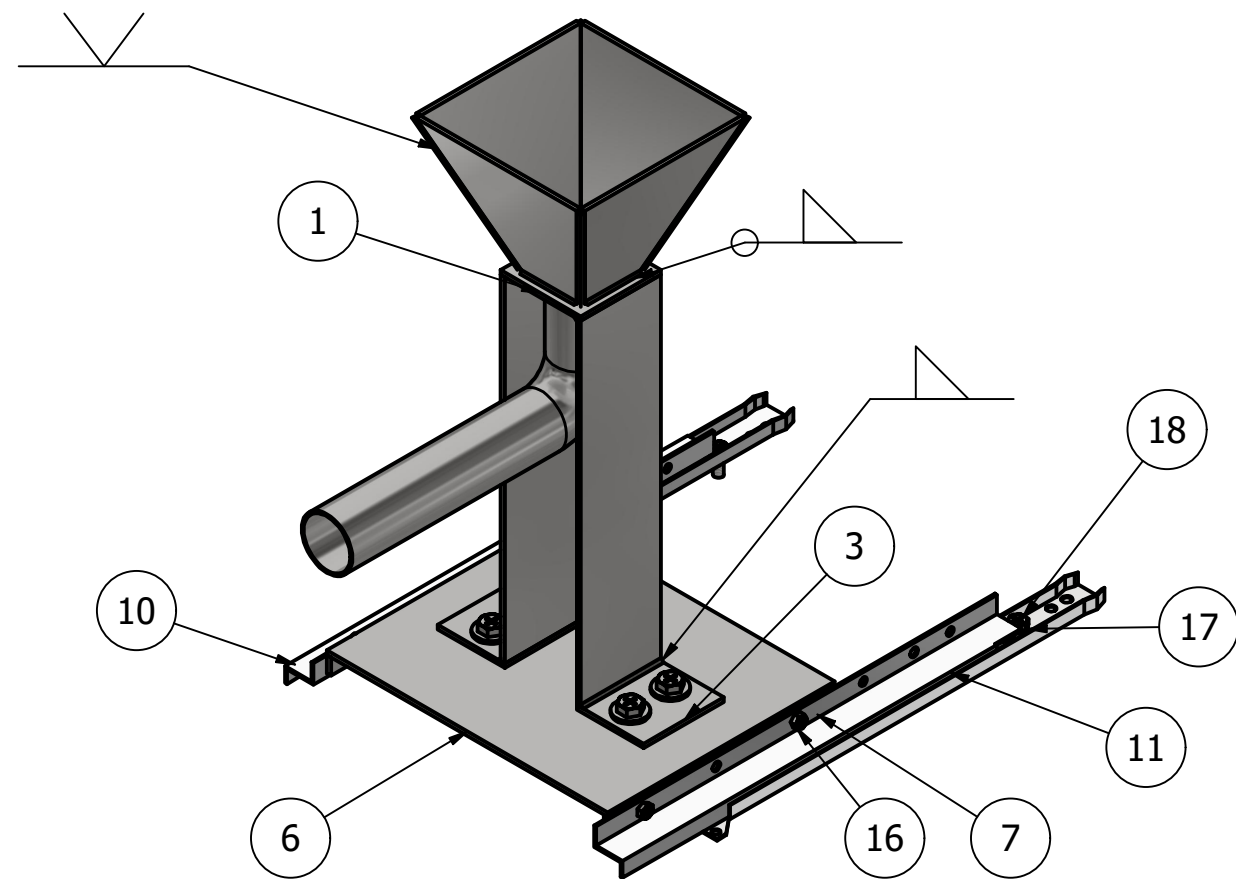


TOLERANCIA ±1 mm			Denominación Chapa de soporte para el termómetro	ESCALA 1:1
	FECHA	NOMBRE	MATERIAL Acero inoxidable AISI 430 (Chapa con espesor de 1 mm)	CÓDIGO 2025-FC-T1.7
DIBUJADO POR	19/03/25	Nicolás Ortiz		
REVISADO POR	24/03/25	Lorena Bejarano	REFERENCIA Ensamble de la cubierta de seguridad	USFQ
APROBADO POR	26/03/25	Alfredo Valarezo		

VISTA FRONTAL



VISTA ISOMÉTRICA



Nota:
• Las chapas metalicas se sueldan mediante soldadura TIG.

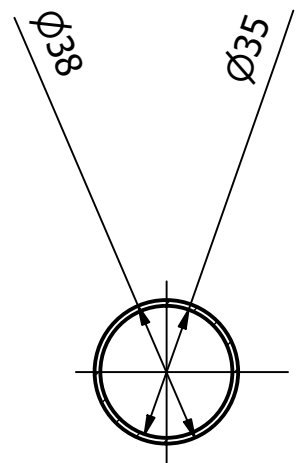
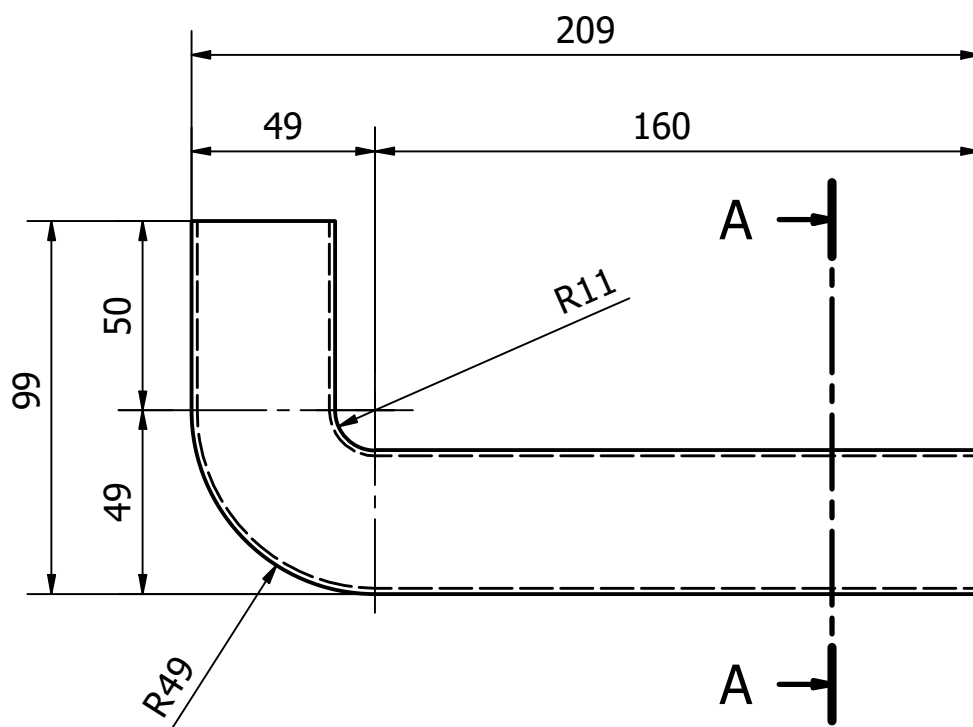
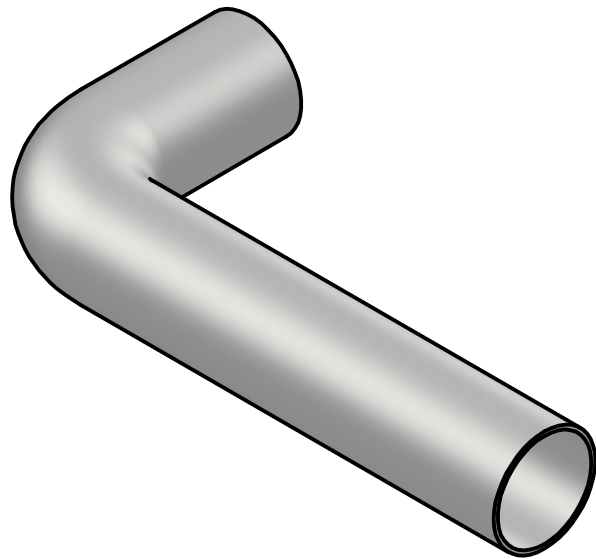
PARTS LIST			
ITEM	QTY	PART NUMBER	DESCRIPTION
1	1	Soporte para el tubo de colada	
2	2	Columna del colador	
3	2	Soporte para el colador	
4	1	Tubo para la colada	
5	4	Chapa para el colador	
6	1	Base del colador	
7	2	Chapa lateral de la base del colador	
8	4	AS 1237 - 10 mm	Arandelas
9	4	ANSI B18.2.4.2M - M10x1,5	Tuercas
10	1	Riel derecho	
11	1	Riel izquierdo	
12	1	Base riel derecho	
13	1	Base riel izquierdo	
14	4	ANSI B18.2.4.2M - M5x0,8	Tuercas
15	4	Bolt GB/T 29.2 M8 x 25	Pernos
16	4	Bolt GB/T 29.2 M5 x 12	Pernos
17	2	AS 1237 - 6	Arandelas
18	2	Bolt GB/T 29.2 M6 x 14	Pernos
Denominación			ESCALA
Ensambe del colador			1:4
	FECHA	NOMBRE	CÓDIGO
DIBUJADO POR	19/03/25	Nicolás Ortiz	2025-FC-C1.1
REVISADO POR	24/03/25	Lorena Bejarano	REFERENCIA
APROBADO POR	26/03/25	Alfredo Valarezo	Ensamble general
			PESO
			3.43 kg
			USFQ

Notas:

- Doblar la tubería a partir de los radios acotados

N10

VISTA ISOMÉTRICA



SECCIÓN A-A (1 : 2)

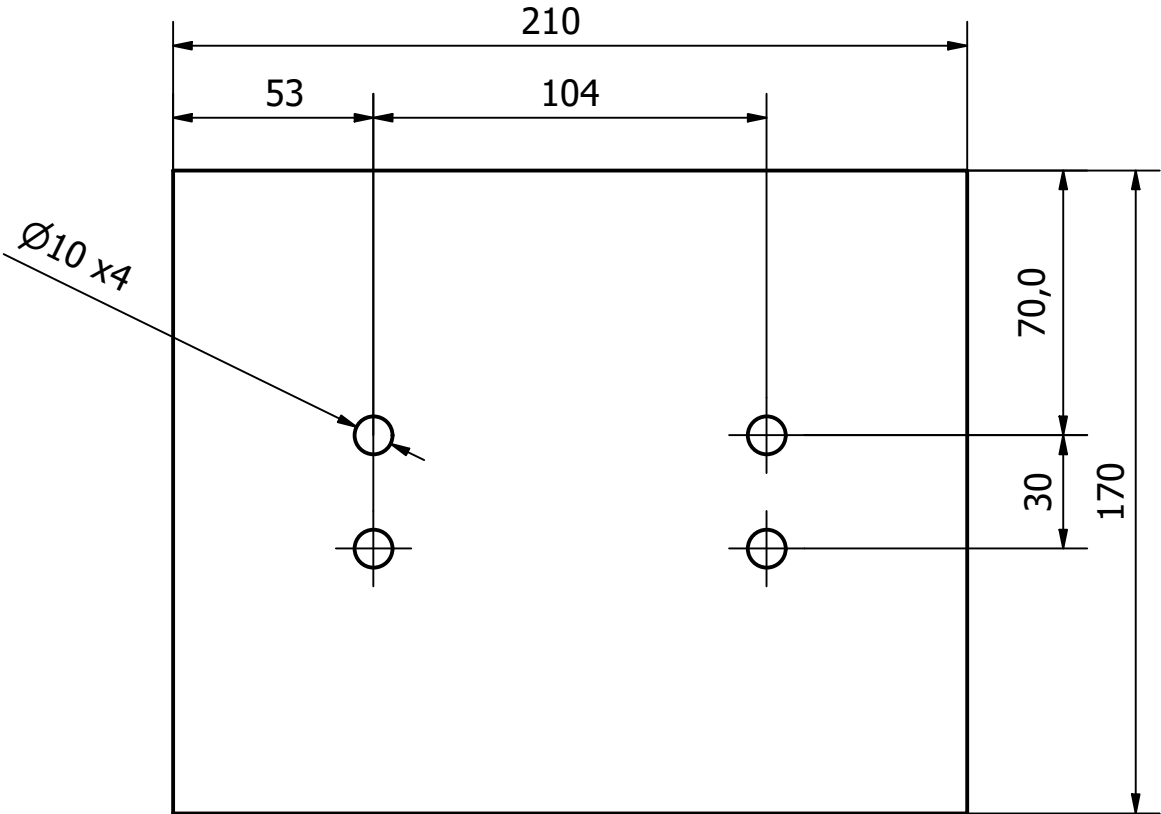
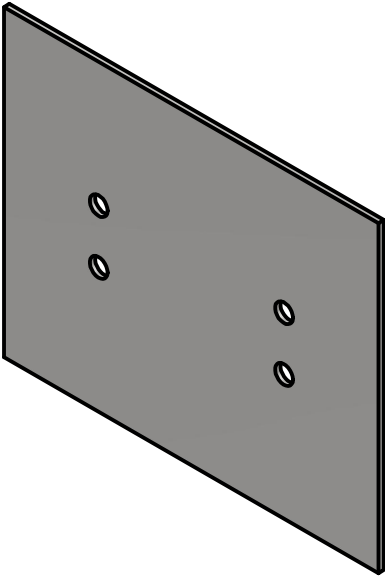
TOLERANCIA ±1 mm			Denominación Tubo para la colada	ESCALA 1:2
	FECHA	NOMBRE	MATERIAL Acero inoxidable AISI 304 (Chapa con espesor de 3 mm)	CÓDIGO 2025-FC-C1.2
DIBUJADO POR	19/03/25	Nicolás Ortiz		
REVISADO POR	24/03/25	Lorena Bejarano	REFERENCIA Ensamble del colador	USFQ
APROBADO POR	26/03/25	Alfredo Valarezo		

Nota:

- Realizar corte (láser) con las dimensiones indicadas con acabado N10.
- Remover aristas vivas.



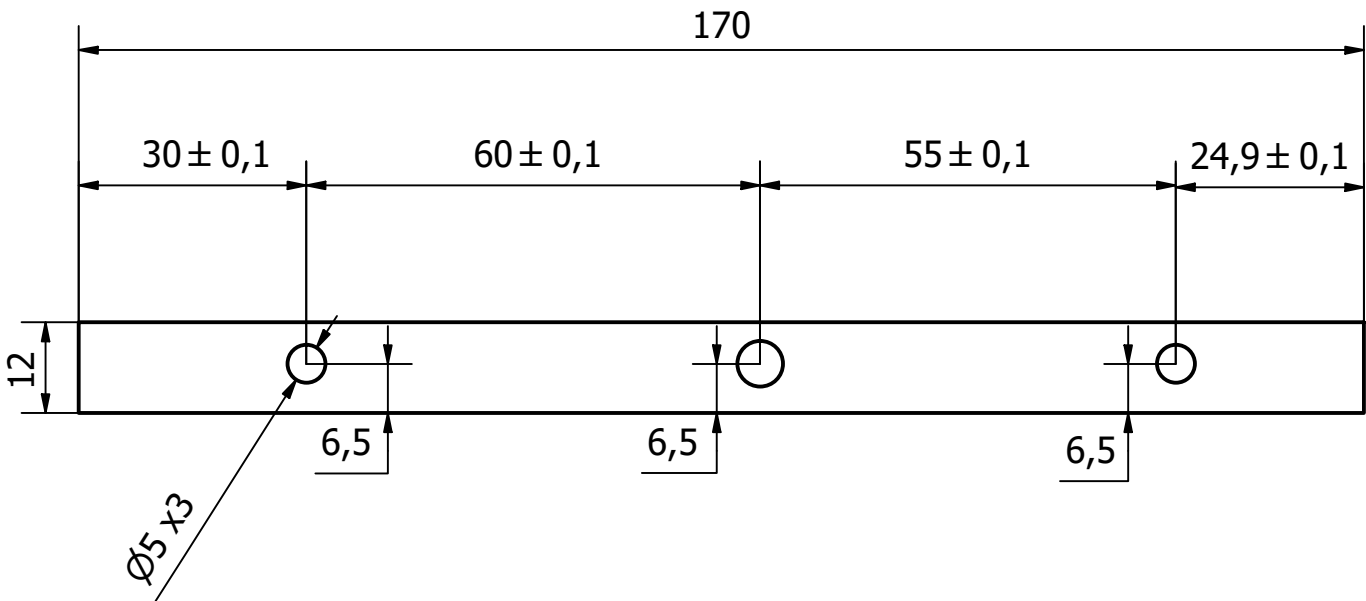
VISTA ISOMÉTRICA
ESCALA 1:3



TOLERANCIA ±1 mm			Denominación Base del colador	ESCALA 1:2
	FECHA	NOMBRE	MATERIAL Acero inoxidable AISI 304 (Chapa con espesor de 3 mm)	CÓDIGO 2025-FC-C1.3
DIBUJADO POR	17/03/25	Nicolás Ortiz		
REVISADO POR	24/03/25	Lorena Bejarano	REFERENCIA Ensamble del colador	USFQ
APROBADO POR	26/03/25	Alfredo Valarezo		

- Nota:
- Realizar corte (láser) con las dimensiones indicadas y acabado N10.
 - Remover aristas vivas.
 - Realizar 2 unidades de la geometría.

VISTA ISOMÉTRICA
ESCALA 2:3

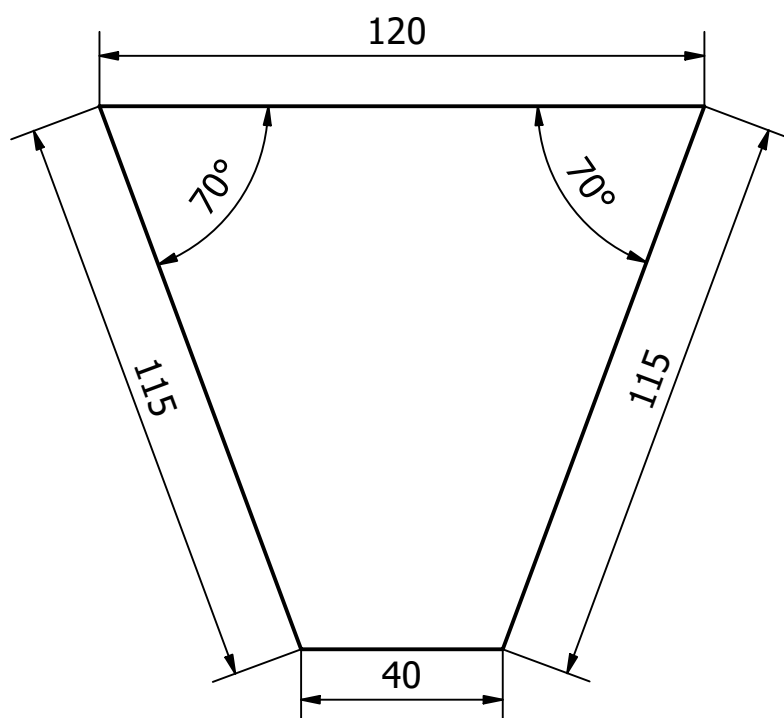
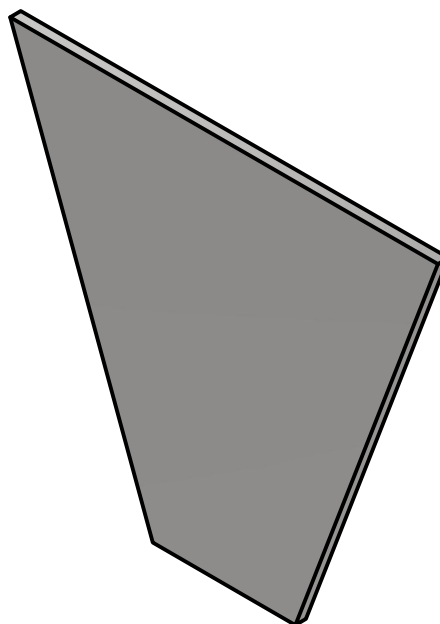


TOLERANCIA ±0.5 mm			Denominación Chapa lateral de la base del colador	ESCALA 1:1
	FECHA	NOMBRE	MATERIAL Acero inoxidable AISI 304 (Chapa con espesor de 3 mm)	CÓDIGO 2025-FC-C1.4
DIBUJADO POR	19/03/25	André Cevallos		
REVISADO POR	24/03/25	Lorena Bejarano	REFERENCIA Ensamble del colador	USFQ
APROBADO POR	26/03/25	Alfredo Valarezo		

Nota:

- Realizar corte (láser) con las dimensiones indicadas con acabado N10.
- Remover aristas vivas.
- Realizar 4 unidades de la geometría.

VISTA ISOMÉTRICA

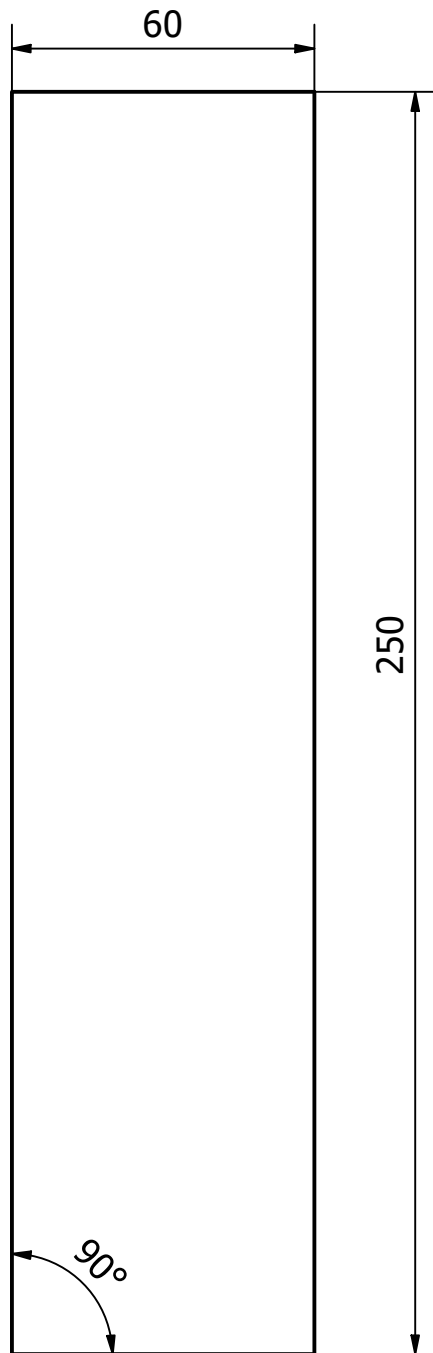


TOLERANCIA ±1 mm			Denominación Chapa para el colador	ESCALA 2:3
	FECHA	NOMBRE	MATERIAL Acero inoxidable AISI 304 (Chapa con espesor de 3 mm)	CÓDIGO 2025-FC-C1.5
DIBUJADO POR	19/03/25	Nicolás Ortiz		
REVISADO POR	24/03/25	Lorena Bejarano	REFERENCIA Ensamble del colador	USFQ
APROBADO POR	26/03/25	Alfredo Valarezo		

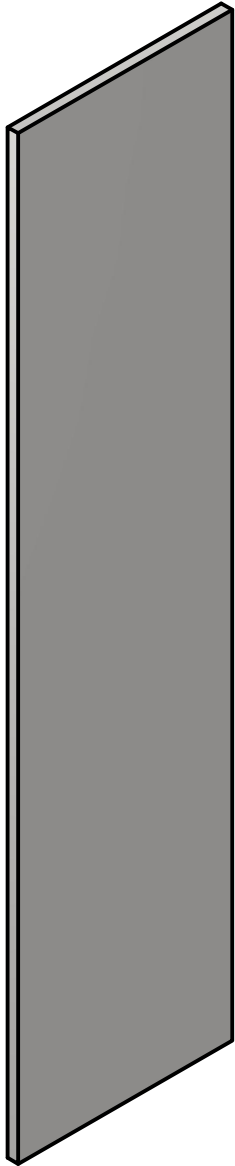
Nota:

- Realizar corte (láser) rectangular con las dimensiones indicadas con calidad N10.
- Remover aristas vivas.
- Realizar 2 unidades de la geometría.

N10



VISTA ISOMÉTRICA

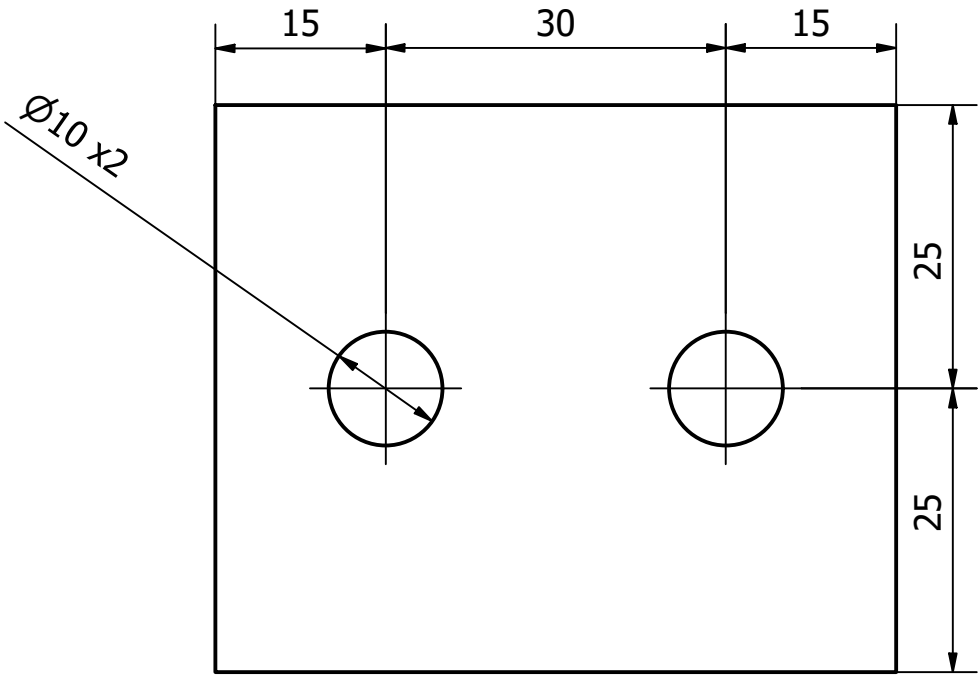
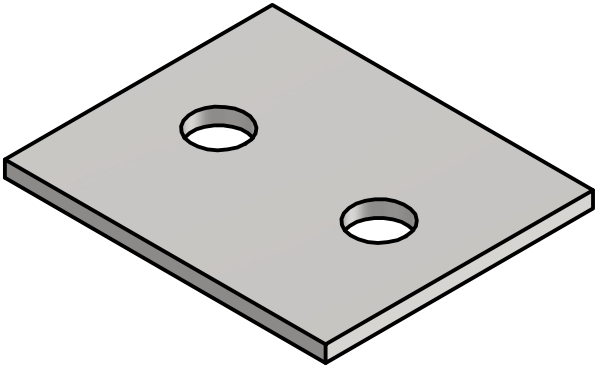


TOLERANCIA ±1 mm			Denominación Columna del colador	ESCALA 2:3
	FECHA	NOMBRE	MATERIAL Acero inoxidable AISI 304 (Chapa con espesor de 3 mm)	CÓDIGO 2025-FC-C1.6
DIBUJADO POR	19/03/25	Nicolás Ortiz		
REVISADO POR	24/03/25	Lorena Bejarano	REFERENCIA Ensamble del colador	USFQ
APROBADO POR	26/03/25	Alfredo Valarezo		

Nota:

- Realizar corte (láser) rectangular con las dimensiones indicadas.
- Remover aristas vivas.
- Realizar 2 unidades de la geometría.

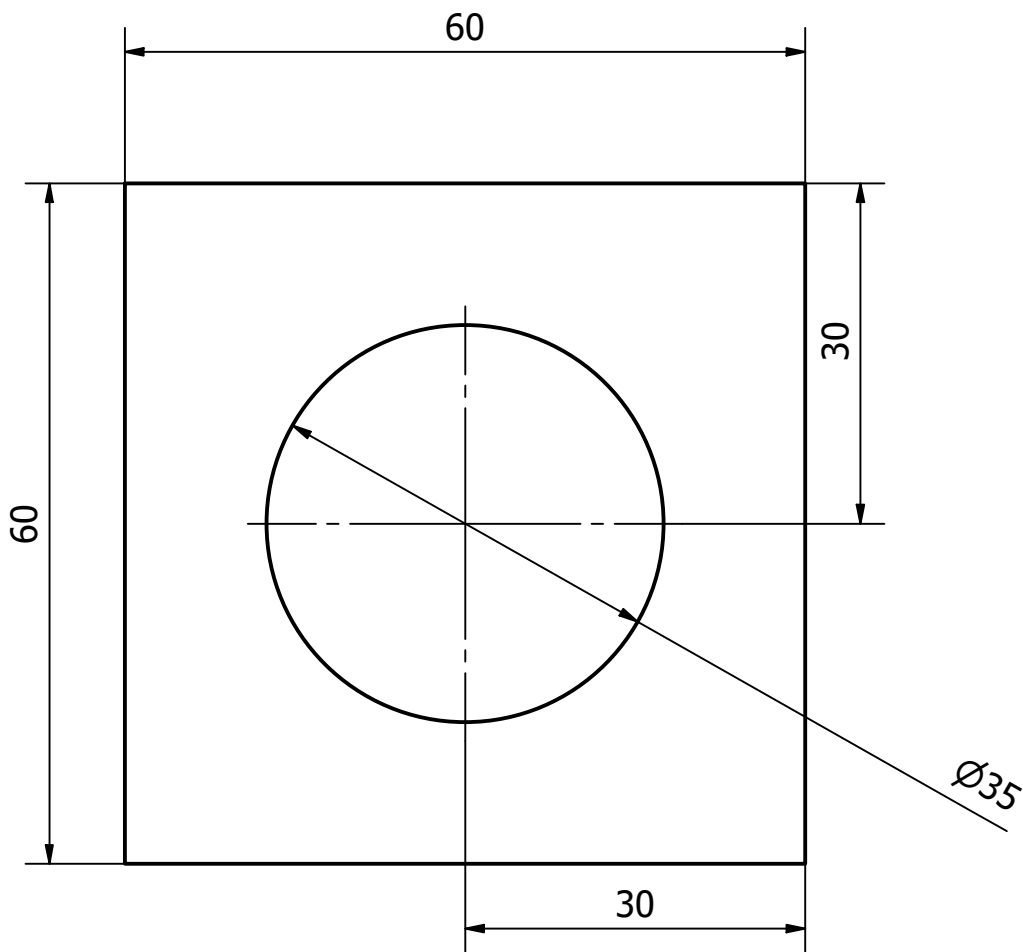
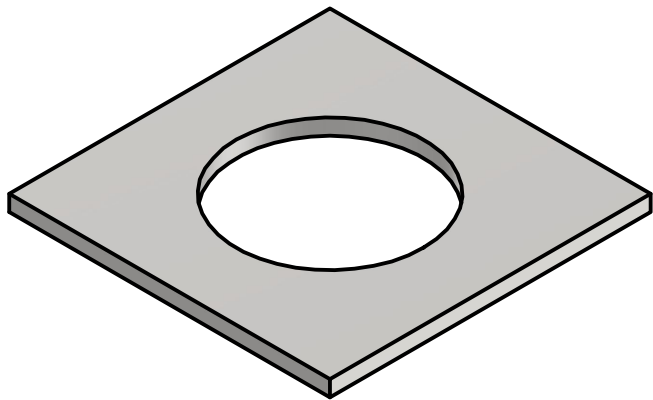
VISTA ISOMÉTRICA
ESCALA 1:1



TOLERANCIA ±1 mm			Denominación Soporte para el colador	ESCALA 3:2
	FECHA	NOMBRE	MATERIAL Acero inoxidable AISI 304 (Chapa con espesor de 3 mm)	CÓDIGO 2025-FC-C1.7
DIBUJADO POR	19/03/25	Nicolás Ortiz		
REVISADO POR	24/03/25	Lorena Bejarano	REFERENCIA Ensamble del colador	USFQ
APROBADO POR	26/03/25	Alfredo Valarezo		

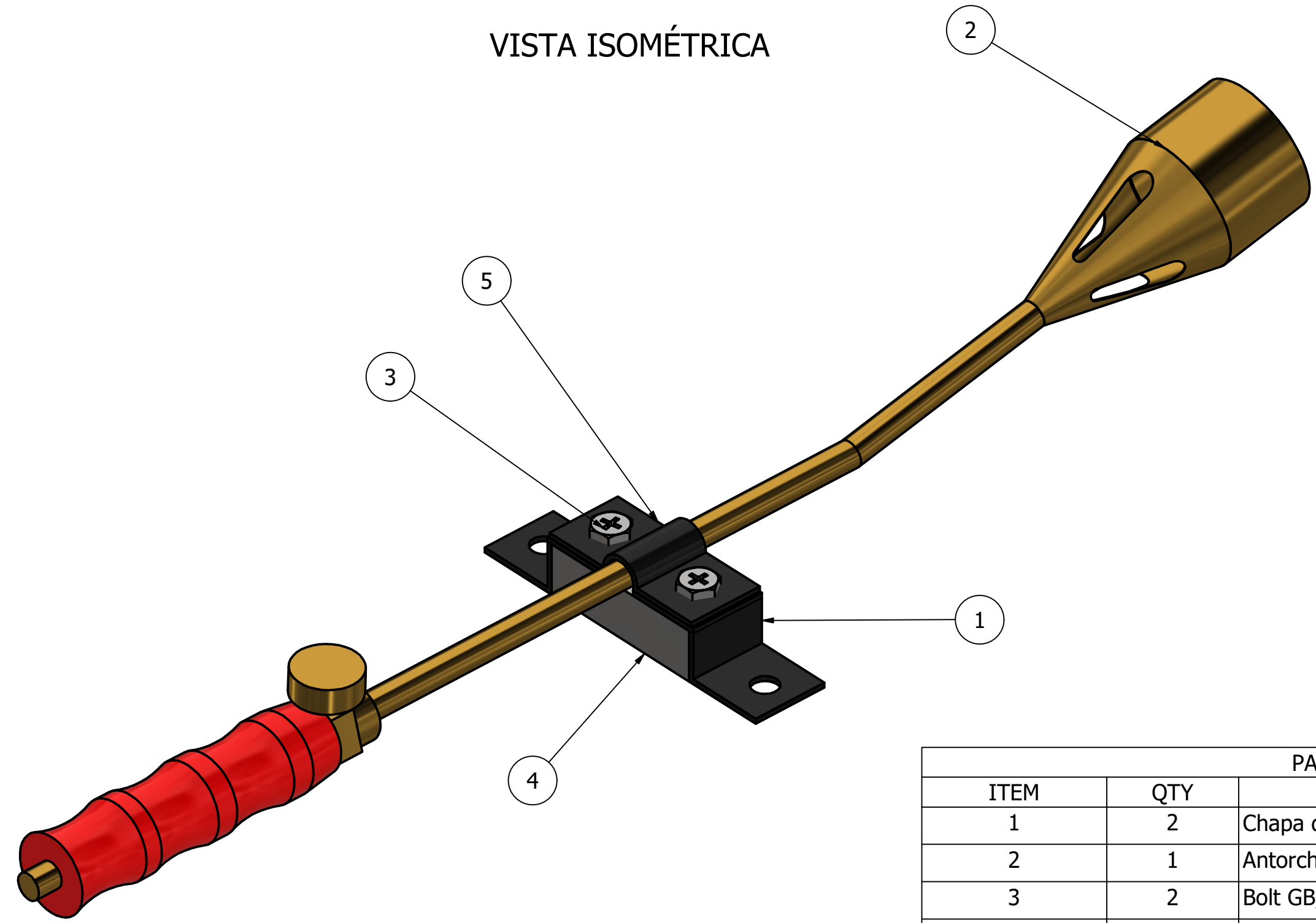
- Nota:
- Realizar corte (láser) cuadrado con las dimensiones indicadas con acabado N10.
 - Remover aristas vivas.

VISTA ISOMÉTRICA
ESCALA 1:1



TOLERANCIA ±1 mm			Denominación Soporte para el tubo de colada	ESCALA 3:2
	FECHA	NOMBRE	MATERIAL Acero inoxidable AISI 304 (Chapa con espesor de 3 mm)	CÓDIGO 2025-FC-C1.8
DIBUJADO POR	19/03/25	Nicolás Ortiz		
REVISADO POR	24/03/25	Lorena Bejarano	REFERENCIA Ensamble del colador	USFQ
APROBADO POR	26/03/25	Alfredo Valarezo		

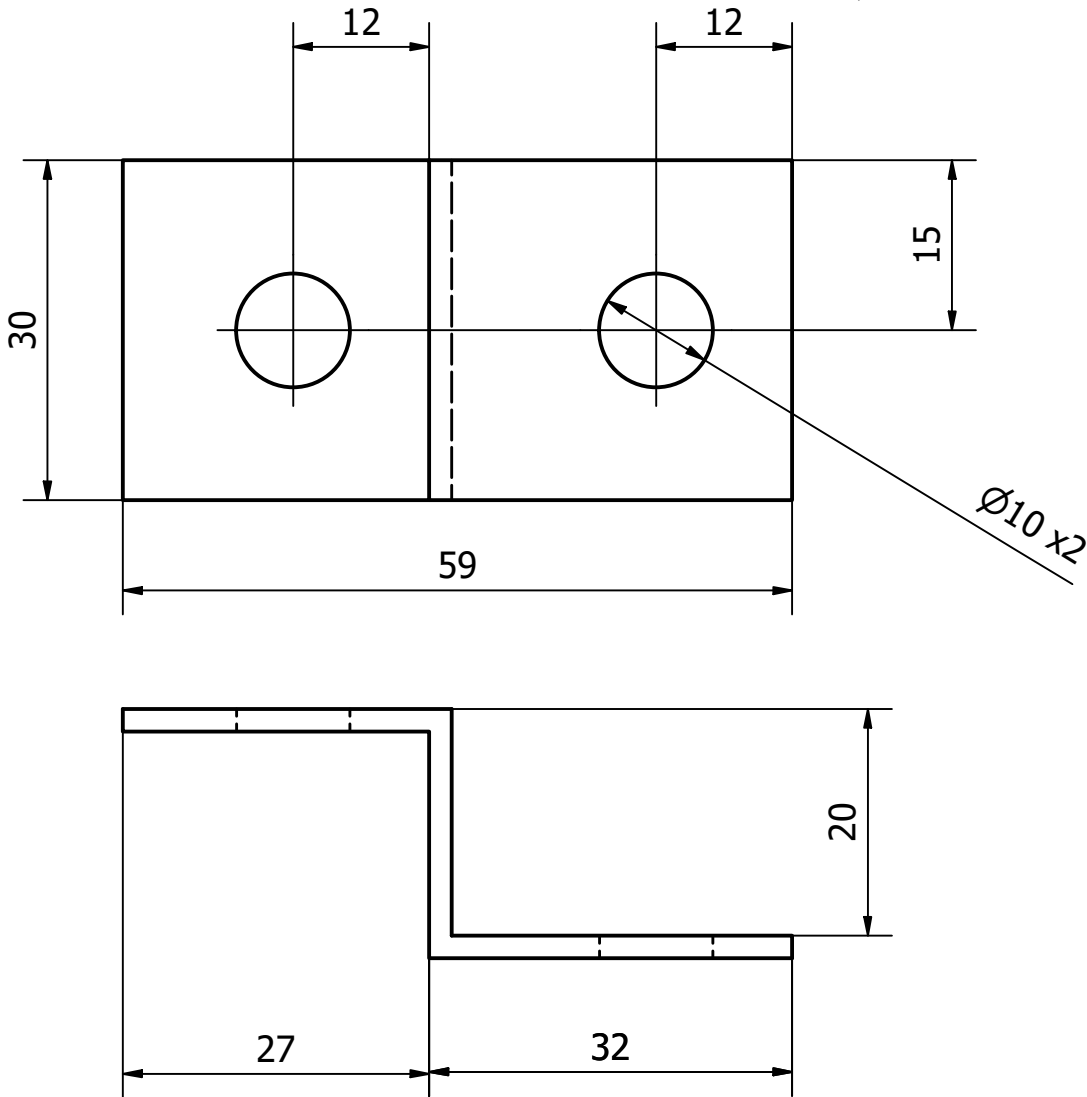
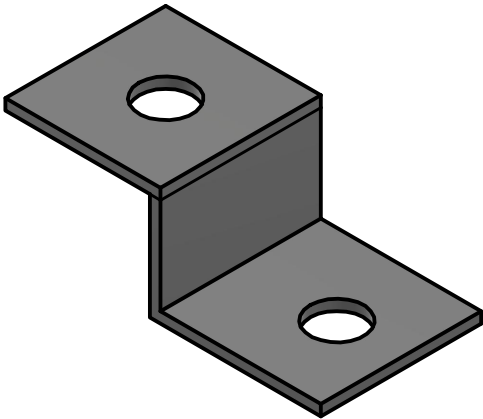
VISTA ISOMÉTRICA



PARTS LIST				
ITEM		QTY	PART NUMBER	DESCRIPTION
1		2	Chapa de fijación	
2		1	Antorcha	
3		2	Bolt GB/T 29.2 M8 x 14	Pernos
4		1	Bloque de elevación	
5		1	Abrazadera para la antorcha	
Denominación				ESCALA
Ensambe de la antorcha				2:3
	FECHA	NOMBRE	CÓDIGO	PESO
DIBUJADO POR	19/03/25	Nicolás Ortiz	2025-FC-A1.1	1.39 kg
REVISADO POR	24/03/25	Lorena Bejarano		
APROBADO POR	26/03/25	Alfredo Valarezo	REFERENCIA	USFQ
			Ensamble general	

- Nota:
- Doblar con una plegadora dos veces la chapa de acero de 2 mm.
 - Realizar 2 unidades de la geometría.

VISTA ISOMÉTRICA
ESCALA 1:1



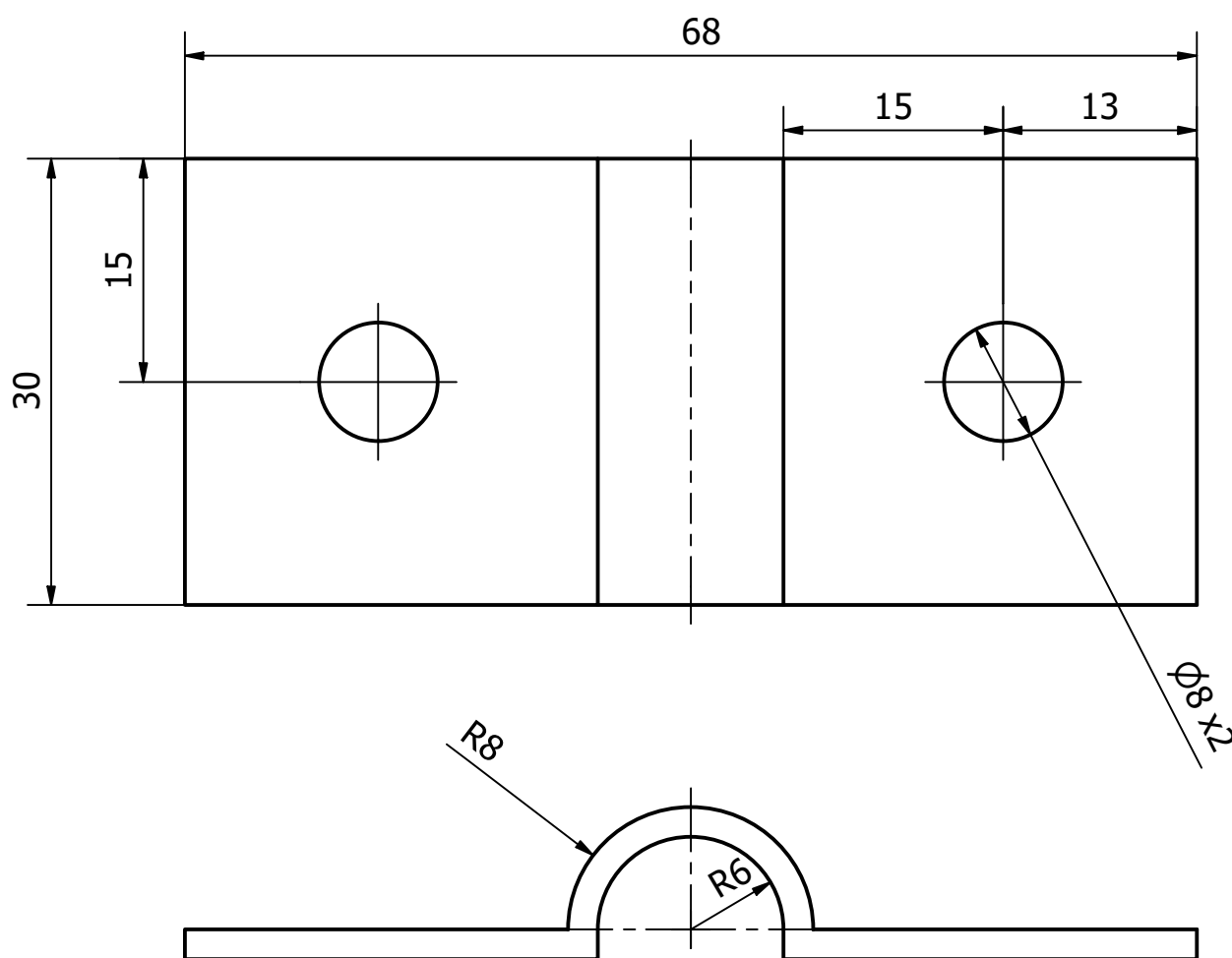
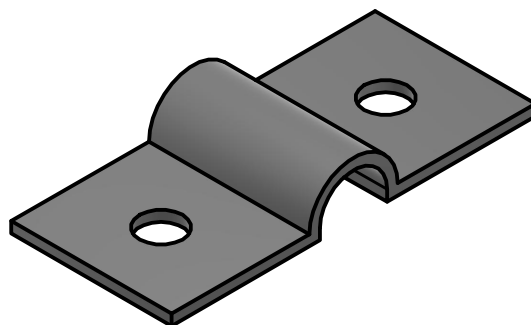
TOLERANCIA ±1 mm			Denominación Chapa de fijación	ESCALA 3:2
	FECHA	NOMBRE	MATERIAL Acero A-36 (Platina con espesor de 2 mm)	CÓDIGO 2025-FC-A1.2
DIBUJADO POR	19/03/25	Nicolás Ortiz		
REVISADO POR	24/03/25	Lorena Bejarano	REFERENCIA Ensamble de la antorcha	USFQ
APROBADO POR	26/03/25	Alfredo Valarezo		

Nota:

- Doblar con una plegadora la chapa de acero de 2 mm.
- Mediante fresado realizar los agujeros pasantes.

VISTA ISOMÉTRICA
ESCALA 1:1

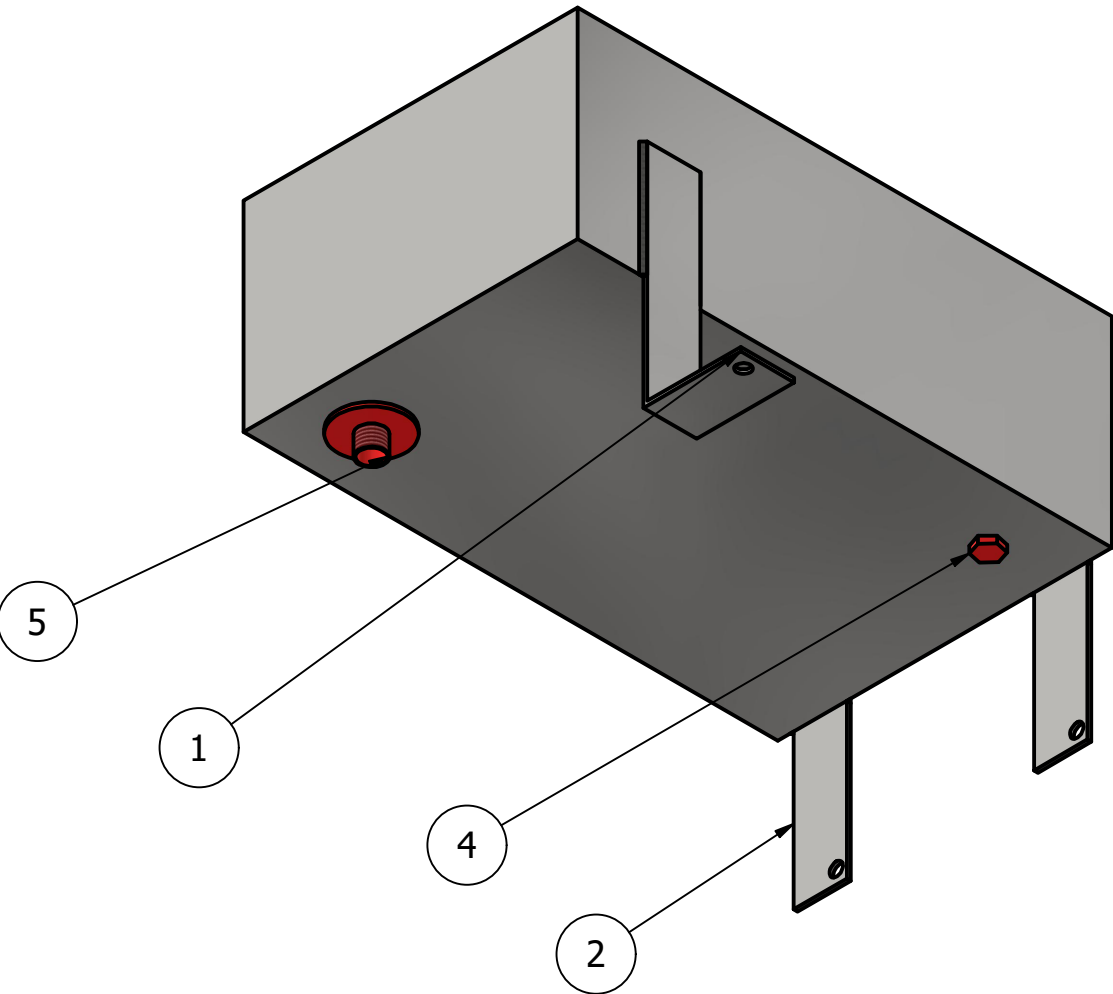
N11



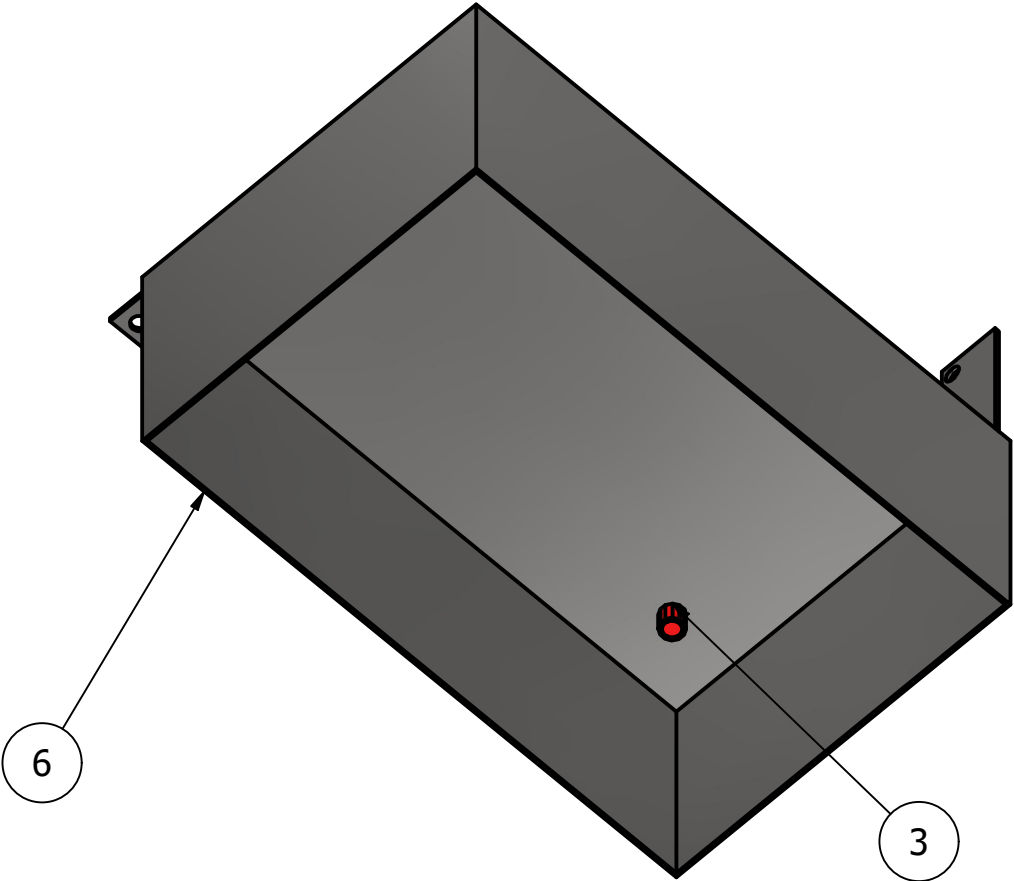
TOLERANCIA ±1 mm			Denominación Abrazadera para la antorcha	ESCALA 2:1
	FECHA	NOMBRE	MATERIAL Acero A-36 (Platina con espesor de 2 mm)	CÓDIGO 2025-FC-A1.3
DIBUJADO POR	19/03/25	Nicolás Ortiz		
REVISADO POR	24/03/25	Lorena Bejarano	REFERENCIA Ensamble de la antorcha	USFQ
APROBADO POR	26/03/25	Alfredo Valarezo		

- Nota:
- Las juntas se realizan mediante soldadura MIG.

VISTA ISOMÉTRICA



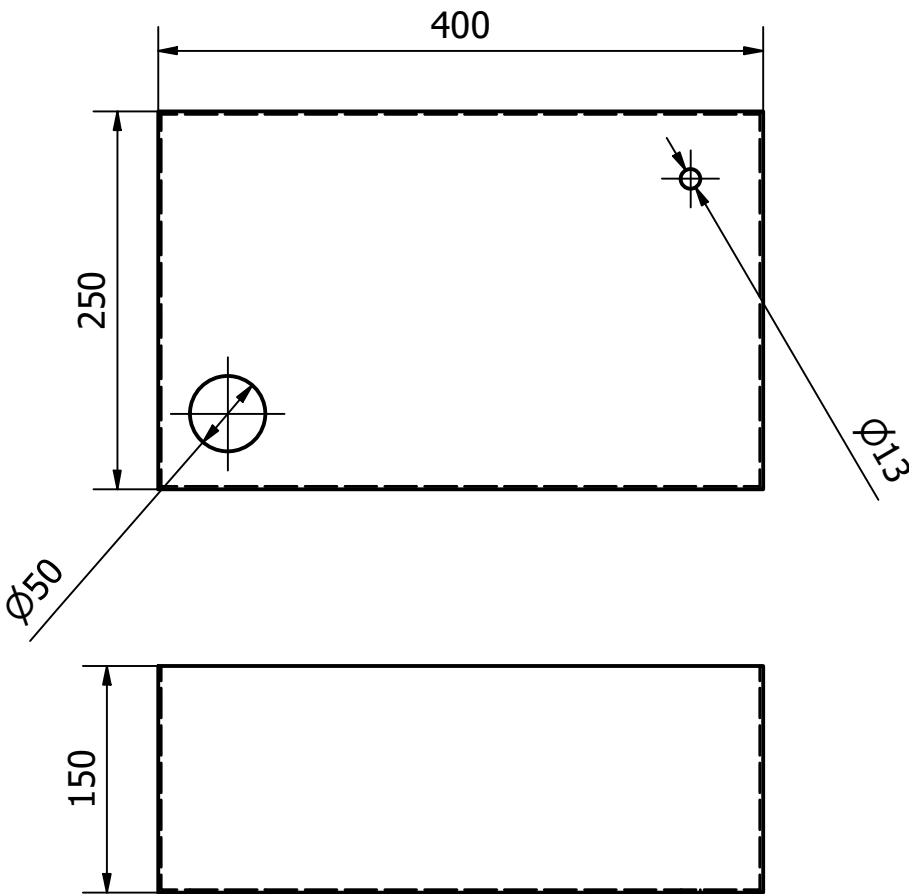
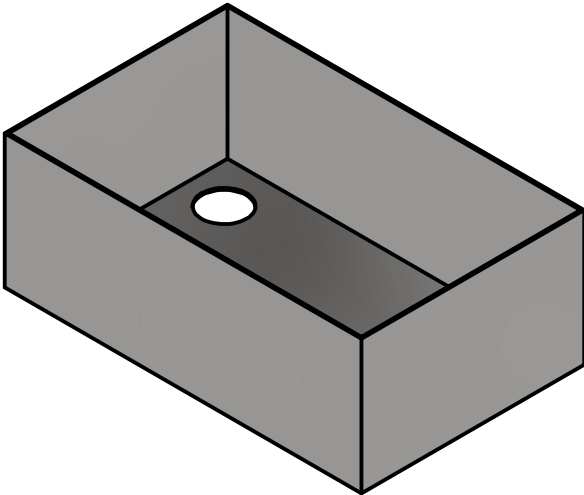
VISTA ISOMÉTRICA



PARTS LIST				
ITEM		QTY	PART NUMBER	DESCRIPTION
1		1	Soporte doblado para el tanque de agua	
2		2	Soporte para el tanque de agua	
3		1	Tapón hembra de 1/2"	
4		1	Tapón macho de 1/2"	
5		1	Adaptador de tanque de 2"	
6		1	Tanque de agua	
Denominación Ensambe del tanque de agua				ESCALA 1:4
	FECHA	NOMBRE	CÓDIGO 2025-FC-H1.1	PESO 5.19 kg
DIBUJADO POR	19/03/25	Nicolás Ortiz		
REVISADO POR	24/03/25	Lorena Bejarano	REFERENCIA Ensamble general	USFQ
APROBADO POR	26/03/25	Alfredo Valarezo		

- Nota:
- Realizar corte (láser) de cada una de las caras incluyendo los agujeros correspondientes.
 - Mediante soldadura unir cada cara como se indica.

VISTA ISOMÉTRICA
ESCALA 1:6



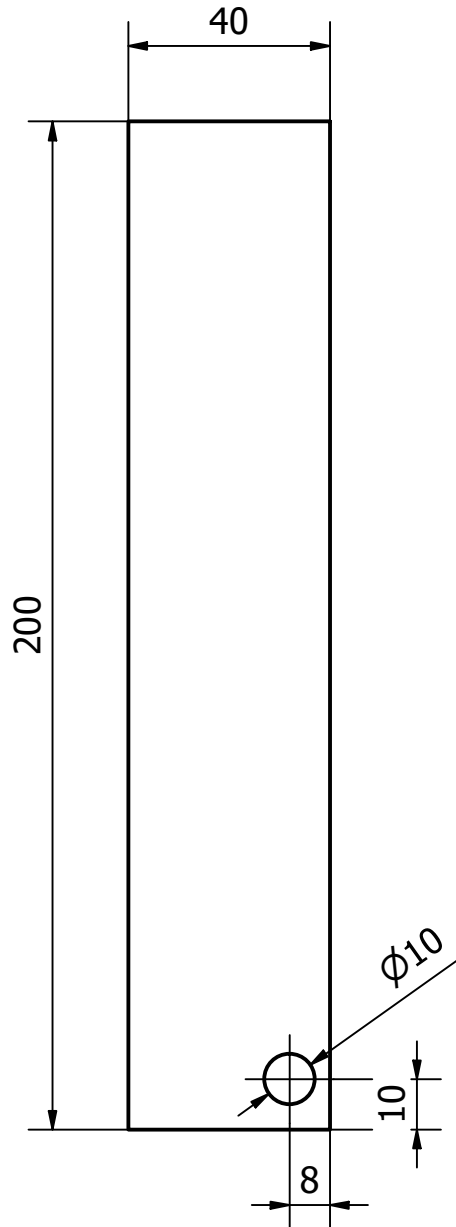
TOLERANCIA ±1 mm			Denominación Tanque de agua	ESCALA 1:5
	FECHA	NOMBRE	MATERIAL Acero A-36 (Chapa con espesor de 2 mm)	CÓDIGO 2025-FC-H1.2
DIBUJADO POR	17/03/25	Nicolás Ortiz		
REVISADO POR	24/03/25	Lorena Bejarano	REFERENCIA Ensamble del tanque de agua	USFQ
APROBADO POR	26/03/25	Alfredo Valarezo		

Nota:

- Cortar con molador la platina a las dimensiones especificadas.
- De ser necesario aplicar un esmerilado.
- Mediante fresado realizar el agujero.
- Realizar 2 unidades de la geometría.

N11

VISTA ISOMÉTRICA



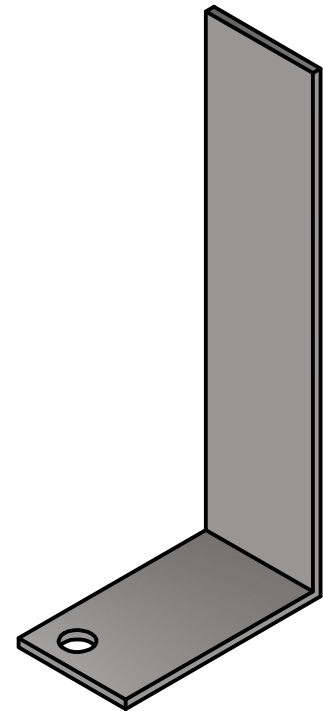
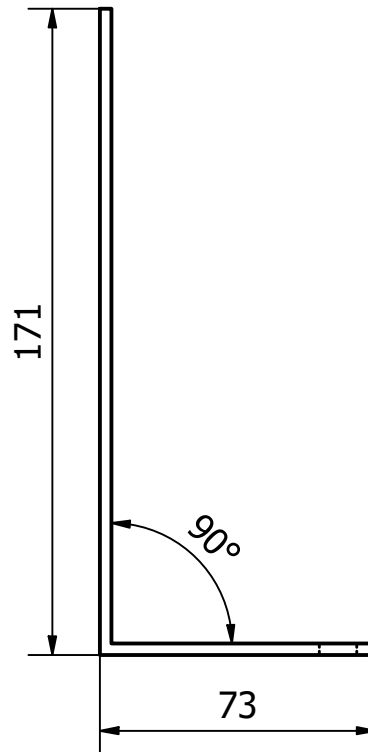
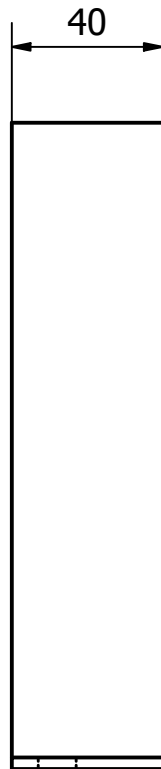
TOLERANCIA $\pm 1 \text{ mm}$			Denominación Soporte para el tanque de agua	ESCALA 2:3
	FECHA	NOMBRE	MATERIAL Acero A-36 (Platina con espesor de 3 mm)	CÓDIGO 2025-FC-H1.3
DIBUJADO POR	17/03/25	Nicolás Ortiz		
REVISADO POR	24/03/25	Lorena Bejarano	REFERENCIA Ensamble del tanque de agua	USFQ
APROBADO POR	26/03/25	Alfredo Valarezo		

Nota:

- Cortar con molador la platina a las dimensiones especificadas.
- De ser necesario aplicar un esmerilado.
- Mediante fresado realizar el agujero.
- Realizar el doblado con una plegadora.

N11

VISTA ISOMÉTRICA



$\varnothing 10$

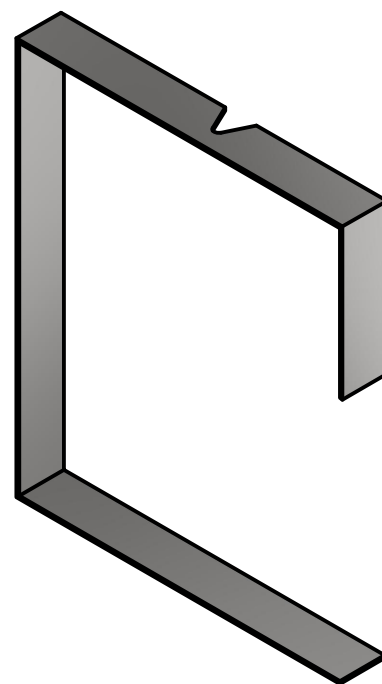
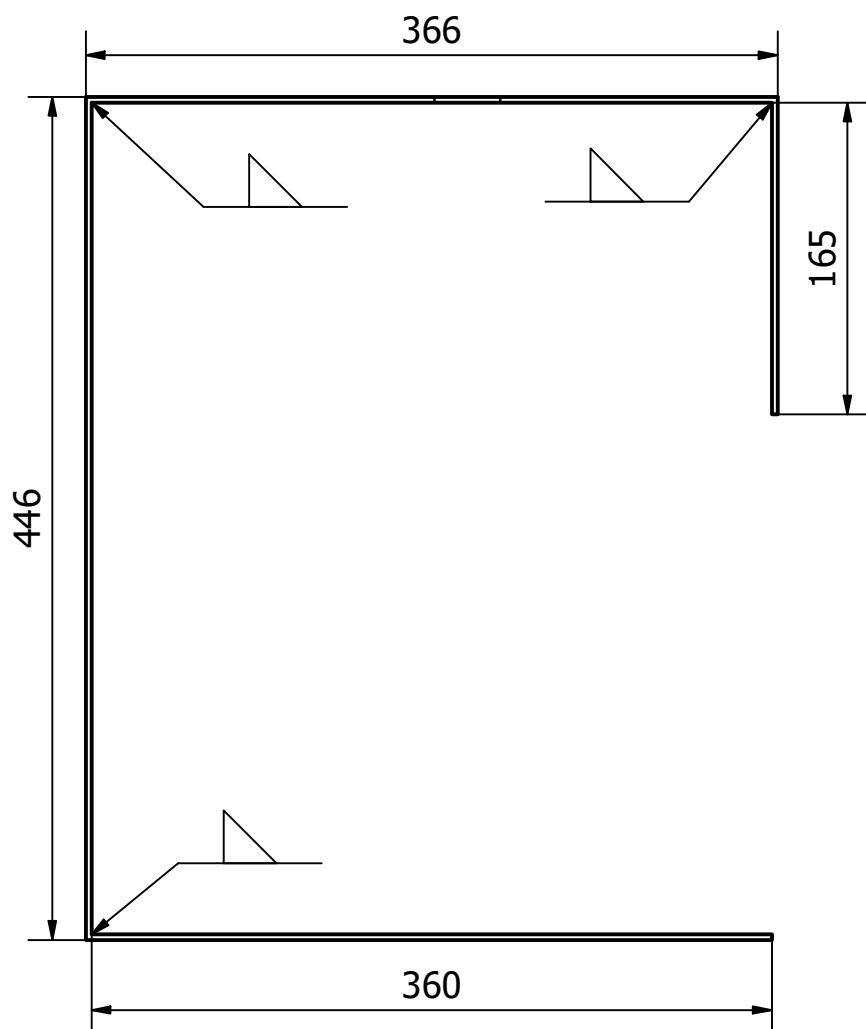
TOLERANCIA $\pm 1 \text{ mm}$			Denominación Soporte doblado para el tanque de agua	ESCALA 1:2
	FECHA	NOMBRE	MATERIAL Acero A-36 (Platina con espesor de 3 mm)	CÓDIGO 2025-FC-H1.4
DIBUJADO POR	17/03/25	Nicolás Ortiz		
REVISADO POR	24/03/25	Lorena Bejarano	REFERENCIA Ensamble del tanque de agua	USFQ
APROBADO POR	26/03/25	Alfredo Valarezo		

Nota:

- Cortar con moladora las platinas a partir de las dimensiones especificadas.
- Soldar las platinas entre ellas como se indica.
- Al colocar sobre el bastidor, soldar a lo largo para evitar fugas de agua.

VISTA ISOMÉTRICA
ESCALA 1:6

N10



TOLERANCIA ±1 mm			Denominación Deflector de salpicaduras	ESCALA 1:4
	FECHA	NOMBRE	MATERIAL Acero A-36 (Placa con espesor de 3 mm)	CÓDIGO 2025-FC-D1.1
DIBUJADO POR	19/03/25	Nicolás Ortiz		
REVISADO POR	24/03/25	Lorena Bejarano	REFERENCIA Ensamble general	USFQ
APROBADO POR	26/03/25	Alfredo Valarezo		