



Portada
unl

Universidad
Nacional
de Loja

Universidad Nacional de Loja

**Facultad de la Energía, las Industrias y los Recursos Naturales no
Renovables**

Carrera de Ingeniería Electromecánica

**Diseño y construcción de un fermentador aerobio de café con
control de temperatura**

**Trabajo de Integración Curricular,
previo a la obtención del título de
Ingeniero Electromecánico**

AUTOR:

Alex Vicente Robles Granda

DIRECTOR:

Ing. Byron Agustín Solórzano Castillo

Loja – Ecuador

2023

Educamos para Transformar

Certificación

Loja, 06 de diciembre de 2023

Ing. Byron Agustín Solórzano Castillo

DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACION CURRICULAR

CERTIFICO:

Que he revisado y orientado todo proceso de la elaboración del Trabajo de Integración Curricular denominado: **Diseño y construcción de un fermentador aerobio de café con control de temperatura**, previo a la obtención del título de **Ingeniero Electromecánico**, de la autoría del estudiante **Alex Vicente Robles Granda**, con **cédula de identidad Nro. 1104878408**, una vez que el trabajo cumple con todos los requisitos exigidos por la Universidad Nacional de Loja, para el efecto, autorizo la presentación del mismo para su respectiva sustentación y defensa.



Formado electrónicamente por:
BYRON AGUSTIN
SOLORZANO CASTILLO

Ing. Byron Agustín Solórzano Castillo

DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

Autoría

Yo, **Alex Vicente Robles Granda**, declaro ser el autor del presente Trabajo de Integración Curricular y eximo expresamente a la Universidad Nacional de Loja y a sus representantes jurídicos de posibles reclamos o acciones legales, por el contenido del mismo. Adicionalmente acepto y autorizo a la Universidad Nacional de Loja, la publicación de mi Trabajo de Integración Curricular en el Repositorio Institucional - Biblioteca Virtual.

Firma: 

Fecha: 6 de diciembre de 2023

Cedula: 1104878408

Teléfono: 0961186408

Correo: alex.robles@unl.edu.ec

Carta de autorización por parte del autor, para consulta, reproducción parcial o total y/o publicación electrónica del texto completo, del Trabajo de Integración Curricular.

Yo, **Alex Vicente Robles Granda**, declaro ser el autor del Trabajo de Integración Curricular denominado: **Diseño y construcción de un fermentador aerobio de café con control de temperatura**, como requisito para optar por el título de **Ingeniero Electromecánico**, autorizo al Sistema Bibliotecario de la Universidad Nacional de Loja para que con fines académicos, muestre al mundo la producción intelectual de la Universidad, a través de la visibilidad de su contenido de la siguiente manera en el Repositorio Institucional.

Los usuarios pueden consultar el contenido de este trabajo en el Repositorio Institucional, en las redes de información del país y del exterior, con las cuales tenga convenio la Universidad.

La Universidad Nacional de Loja, no se responsabiliza por el plagio o copia del Trabajo de Integración Curricular que realice un tercero.

Para constancia de esta autorización, suscribo, en la ciudad de Loja, a los cuatro días del mes de diciembre del dos mil veintitrés.

Firma: 

Autor: Alex Vicente Robles Granda

Cedula: 1104878408

Dirección: Loja, Calle Albert Einstein y Teodoro Wolf

Teléfono: 0961186408

Correo: alex.robles@unl.edu.ec

DATOS COMPLEMENTARIOS:

Director del Trabajo de Integración Curricular: Ing. Byron Agustín Solórzano Castillo

Dedicatoria

Lleno de regocijo, amor y esperanza, dedico este trabajo de investigación a cada uno de mis seres queridos, quienes han sido mis pilares para seguir adelante.

A mi madre Angelita Granda Sánchez por darme siempre su apoyo incondicional a lo largo de mis estudios, a mis hermanos Paul, Marcelo, Luis, Gabriela y José que siempre han estado dispuestos a tenderme su mano y brindarme apoyo a lo largo de mis años de estudio, ellos son la razón de sentirme tan orgulloso de culminar mi meta; a mi abuelita Dalinda Sánchez, quien siempre estuvo alentándome en momentos difíciles de mi vida.

A todos los docentes que han transmitido sus conocimientos, formación y valores durante todos estos años de estudio.

Por último, se lo dedico a todos mis familiares y amigos que han estado presentes a lo largo de todo este proceso.

Alex Vicente Robles Granda

Agradecimientos

Primeramente, agradezco a mi madre por haber inculcado todos sus valores, enseñanzas y conocimientos, por haber depositado siempre su confianza plenamente, el amor recibido, dedicación y paciencia con la que cada día se preocupaba por mí, por estar dispuesta a acompañarme cada larga noche y agotadora de estudio, gracias a mi madre por siempre desear y anhelar lo mejor para mi vida, gracias por cada consejo y palabra que me guiaron durante mi vida.

Agradezco a la Universidad Nacional de Loja por haberme permitido formar parte de ella y por abrirme las puertas de su seno científico y estudiar la carrera de Electromecánica, así como también a los diferentes docentes que brindaron sus conocimientos y apoyo para seguir adelante día a día.

Agradezco también a mi asesor, el ingeniero Byron Agustín Solórzano Castillo por haberme brindado la oportunidad de acudir a su capacidad y conocimiento científico, así como por haberme tenido toda la paciencia del mundo para guiarme durante todo el desarrollo del trabajo de Integración Curricular.

Para finalizar, agradezco a todos los que fueron mis compañeros de clase durante todos los niveles de Universidad ya que gracias al compañerismo, amistad y apoyo moral han aportado en un alto porcentaje a mis ganas de seguir adelante en mi carrera profesional.

Alex Vicente Robles Granda

Índice de contenidos

| | |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| Portada | i |
| Certificación | ii |
| Autoría | iii |
| Carta de autorización por parte del autor, para consulta, reproducción parcial o total y/o publicación electrónica del texto completo, del Trabajo de Integración Curricular. | iv |
| Dedicatoria | v |
| Agradecimientos | vi |
| Índice de contenidos | vii |
| Índice de tablas: | xi |
| Índice de figuras:..... | xii |
| Índice de anexos:..... | xvi |
| 1. Título | 1 |
| 2. Resumen | 2 |
| Abstract | 3 |
| 3. Introducción | 4 |
| 4. Marco Teórico | 5 |
| 4.1. Capítulo I: La Fermentación del Café, Factores, Condiciones y Procesos | 5 |
| 4.1.1. Proceso del Beneficio Húmedo del Café | 5 |
| 4.1.1.1. Recolección..... | 5 |
| 4.1.1.2. Clasificación de la fruta. | 6 |
| 4.1.1.3. Despulpado. | 7 |
| 4.1.1.4. Remoción del Mucílago por Fermentación..... | 8 |
| 4.1.1.5. Lavado y Clasificación | 9 |
| 4.1.1.6. Secado | 9 |
| 4.1.2. Fermentación del Café | 10 |
| 4.1.3. Procesos y Mecanismos de la Fermentación Aeróbica | 11 |
| 4.1.3.1. Fermentación Aeróbica..... | 11 |
| 4.2. Capítulo II: Nociones de Diseño Electromecánico | 15 |
| 4.2.1. Factor de seguridad | 15 |
| 4.2.2. Cilindro de pared delgada | 15 |
| 4.2.3. Segunda ley de Newton para una partícula en movimiento circular uniforme ... | 16 |
| 4.2.4. Esfuerzo cortante..... | 17 |
| 4.2.5. Esfuerzo de contacto o aplastamiento | 18 |

| | | |
|-----------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 4.2.6. | Torsión en ejes | 19 |
| 4.2.7. | Flexión en vigas | 19 |
| 4.2.8. | Diseño de ejes | 20 |
| 4.2.9. | Transmisión de potencia y par de torsión | 22 |
| 4.2.10. | Cálculo de potencia por catálogo Martin | 22 |
| 4.2.11. | Rodamientos..... | 23 |
| 4.2.11.1. | Selección de rodamientos | 24 |
| 4.2.12. | Transferencia de calor por conducción | 25 |
| 4.2.13. | Transferencia de calor por convección | 26 |
| 4.2.14. | Calor específico..... | 26 |
| 5. | Metodología..... | 28 |
| 5.1. | Materiales y equipos..... | 28 |
| 5.1.1. | Equipos y materiales de oficina | 28 |
| 5.1.2. | Equipos para construcción mecánica y eléctrica..... | 28 |
| 5.1.3. | Softwares..... | 28 |
| 5.2. | Procedimiento..... | 28 |
| 5.2.1. | Desarrollo del primer objetivo: Definir las variables y parámetros de la fermentación aerobia de café. | 28 |
| 5.2.2. | Desarrollo del segundo objetivo: Diseñar un fermentador aerobio para café con capacidad de 22lb..... | 28 |
| 5.2.3. | Desarrollo del tercer objetivo: Construir y evaluar el funcionamiento del fermentador diseñado..... | 29 |
| 6. | Resultados..... | 31 |
| 6.1. | Proceso y análisis de datos el objetivo 1 | 31 |
| 6.1.1. | Descripción del proceso de fermentación aerobia | 31 |
| 6.1.2. | Análisis y caracterización del proceso de fermentación aeróbica..... | 31 |
| 6.2. | Proceso y análisis del objetivo 2 | 32 |
| 6.2.1. | Identificación de las partes principales de un fermentador..... | 32 |
| 6.2.2. | Descripción general de la propuesta | 33 |
| 6.2.3. | Determinación del factor de seguridad para el diseño de componentes | 37 |
| 6.2.4. | Dimensionamiento del depósito del fermentador aerobio | 38 |
| 6.2.5. | Dimensionamiento de las cintas helicoidales..... | 40 |
| 6.2.6. | Cálculo de potencia y selección del motor..... | 43 |
| 6.2.7. | Fuerzas axiales en las cintas helicoidales..... | 46 |

| | | |
|-----------|----------------------------------------------------------------------------|------------|
| 6.2.8. | Cálculo del espesor de la plancha para el recipiente..... | 48 |
| 6.2.9. | Desmucilagador | 49 |
| 6.2.10. | Análisis de transferencia de calor sobre el agua | 51 |
| 6.2.11. | Dimensionamiento del aislamiento del depósito..... | 53 |
| 6.2.12. | Diseño del extractor del mucilago..... | 57 |
| 6.2.13. | Pesos sobre el eje y rodamientos..... | 59 |
| 3.1.1.1. | Cálculo del peso de la masa | 59 |
| 3.1.1.2. | Cálculo de peso del depósito..... | 59 |
| 3.1.1.3. | Cálculo del peso de las cintas | 64 |
| 3.1.1.4. | Cálculo del peso del agua | 65 |
| 6.2.14. | Configuración del eje | 66 |
| 6.2.15. | Cálculo de momento máximo y cortante máximo en el eje | 66 |
| 6.2.16. | Dimensionamiento de eje..... | 68 |
| 6.2.17. | Seccionamiento del eje..... | 69 |
| 6.2.18. | Soportes de cintas helicoidales..... | 71 |
| 6.2.19. | Selección de chumaceras..... | 74 |
| 6.2.20. | Selección de rodamientos para depósito | 75 |
| 6.2.21. | Ubicación de rodamientos y reten..... | 76 |
| 6.2.22. | Dimensionamiento de pernos para el acople que contiene rodamientos y reten | 78 |
| 6.2.23. | Diseño del sistema hidráulico | 79 |
| 6.2.24. | Dimensionamiento del sistema de recirculación del agua | 82 |
| 6.2.25. | Diseño del sistema de control | 82 |
| 6.2.25.1. | Selección del microcontrolador | 83 |
| 6.2.25.2. | Selección del sistema de calefacción y refrigeración | 85 |
| 1.1.1.1 | Selección de los relés | 86 |
| 6.2.25.3. | Selección del temporizador..... | 86 |
| 6.2.26. | Diseño del bastidor..... | 87 |
| 6.3. | Procesamiento y análisis del objetivo 3 | 89 |
| 6.3.1. | Construcción | 89 |
| 6.3.2. | Pruebas de funcionamiento | 96 |
| 6.3.3. | Presupuesto de materiales para construcción | 101 |
| 7. | Discusión | 102 |
| 8. | Conclusiones | 104 |

| | | |
|------------|------------------------------|------------|
| 9. | Recomendaciones | 105 |
| 10. | Bibliografía..... | 106 |
| 11. | Anexos..... | 109 |

Índice de tablas:

| | |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Tabla 1. Equivalencias del café y sus derivados | 12 |
| Tabla 2. Olores del mucílago de café fermentado controlado a 20°C | 13 |
| Tabla 3. Condiciones óptimas para la fermentación aerobia..... | 31 |
| Tabla 4. Sistemas principales de un fermentador de café | 32 |
| Tabla 5. Características del fermentador..... | 37 |
| Tabla 6. Propiedades del café en baba..... | 38 |
| Tabla 7. Factores de diseño para las cintas del mezclador..... | 43 |
| Tabla 8. Clasificación del material a mezclar | 44 |
| Tabla 9. Capacidad de cintas según RPM | 44 |
| Tabla 10. Factores de cálculo para determinar las potencias | 45 |
| Tabla 11. Factor de sobrecarga y eficiencia | 46 |
| Tabla 12. Motorreductor seleccionado | 46 |
| Tabla 13. Medidas del depósito..... | 57 |
| Tabla 14. Propiedades de acero AISI 430 | 60 |
| Tabla 15. Medidas del depósito..... | 63 |
| Tabla 16. Ecuaciones de esfuerzo cortante y momentos | 67 |
| Tabla 17. Ecuaciones de esfuerzo cortante y momento flector en barras de soporte | 73 |
| Tabla 18. Características del rodamiento en | 74 |
| Tabla 19. Factor de esfuerzo dinámico recomendado | 75 |
| Tabla 20. Características del rodamiento en A y B | 76 |
| Tabla 21. Características del reten..... | 77 |
| Tabla 22. Características de la bomba usada..... | 81 |
| Tabla 23. Características de controlador de temperatura STC-1000..... | 84 |
| Tabla 24. Características de torre de refrigeración y calefacción | 85 |
| Tabla 25. Características medidas al enfriar y calentar un galón de agua..... | 86 |
| Tabla 26. Características del temporizador | 87 |
| Tabla 27. Evaluaciones de funcionamiento..... | 100 |
| Tabla 28. Desembolso económico..... | 101 |

Índice de figuras:

| | |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 1. Procesos de beneficiado para obtener café seco | 5 |
| Figura 2. Etapas de maduración del café..... | 6 |
| Figura 3. Proceso de selección y boyado de café cereza..... | 7 |
| Figura 4. Granos buenos, mordidos y guayaba | 8 |
| Figura 5. Lavado del café..... | 9 |
| Figura 6. Defectos del café no seleccionado por sobre fermentación y malas prácticas de cosecha y beneficio. Análisis sensorial con 12 repeticiones por muestra y seis jueces | 11 |
| Figura 7. Cambios de temperatura de los granos de café durante la fermentación en sistemas abiertos, sin agua y sumergido al 50%, a temperatura externa promedio de 23° y 25° C | 13 |
| Figura 8. Proporción de calidad especial, superior y rechazo de calidad del café fermentado a temperaturas entre 18 y 26° C y tiempos de 12 hasta 66 h, según los diferentes sistemas, en café maduro seleccionado | 14 |
| Figura 9. Proporción de calidad especial, superior y rechazo de calidad del café fermentado a 15° C y tiempos de 14 hasta 48 h, según los diferentes sistemas, en café maduro seleccionado | 14 |
| Figura 10. Esfuerzo tangencial en un cilindro..... | 16 |
| Figura 11. Partícula con movimiento circular uniforme | 17 |
| Figura 12. Esfuerzo cortante | 17 |
| Figura 13. Sección de esfuerzo cortante..... | 18 |
| Figura 14. Deformaciones por esfuerzo de contacto..... | 18 |
| Figura 15. Deformación en un eje circular..... | 19 |
| Figura 16. Deformación por flexión..... | 20 |
| Figura 17. Círculo de Mohr..... | 21 |
| Figura 18. Razón de transferencia de calor a través de un solido | 25 |
| Figura 19. Convección forzada y natural | 26 |
| Figura 20. Variación de calor necesario para elevar un grado Kelvin | 27 |
| Figura 21. Proceso de construcción del fermentador | 30 |
| Figura 22. Propuesta de fermentador | 34 |
| Figura 23. Forma del depósito del fermentador | 34 |
| Figura 24. Descarga del café en baba..... | 35 |
| Figura 25. Divisiones del depósito..... | 35 |

| | |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 26. Disposición de entradas/salidas de agua y ducto de extracción de mucilago | 36 |
| Figura 27. Cintas helicoidales | 36 |
| Figura 28. Distribución de café en baba, vista frontal y lateral | 39 |
| Figura 29. Vista frontal y lateral del recipiente con dimensiones..... | 40 |
| Figura 30. Zona de ubicación de cintas helicoidales..... | 41 |
| Figura 31. Dirección y masa desplazada por cada cinta del mezclador | 42 |
| Figura 32. Medidas de las cintas helicoidales del mezclador | 42 |
| Figura 33. Fuerzas presentes en las cintas helicoidales del mezclador | 47 |
| Figura 34. Plancha interna del depósito | 48 |
| Figura 35. Ubicación del desmucilaginador en el fermentador | 50 |
| Figura 36. Disposición de la chapa para el desmucilaginado | 50 |
| Figura 37. Disposición de la masa y agua para el análisis térmico..... | 52 |
| Figura 38. Depósito de café desdoblado | 52 |
| Figura 39. Aislamiento del depósito | 53 |
| Figura 40. Paredes con aislamiento del depósito | 54 |
| Figura 41. Flujo de calor en el depósito..... | 55 |
| Figura 42. Dimensiones de cubierta frontal para aislamiento..... | 55 |
| Figura 43. Dimensiones de cubierta externa | 56 |
| Figura 44. Dimensiones de cubierta superior..... | 56 |
| Figura 45. Sistema extractor del mucílago..... | 58 |
| Figura 46. Detalle del extractor de mucílago | 58 |
| Figura 47. Inconsistencia entre el extractor del mucílago y la zaranda | 58 |
| Figura 48. Ensamble de la zaranda y el extractor | 59 |
| Figura 49. Secciones que conforman el depósito..... | 60 |
| Figura 50. Medidas de la plancha interna | 61 |
| Figura 51. Medidas de la plancha intermedia | 61 |
| Figura 52. Medidas de la plancha externa..... | 62 |
| Figura 53. Medidas de cubierta frontal | 62 |
| Figura 54. Medidas de cubierta superior..... | 63 |
| Figura 55. Configuración de eje..... | 66 |
| Figura 56. Medidas y apoyos del eje..... | 66 |
| Figura 57. Diagrama de cuerpo libre del eje | 66 |
| Figura 58. Diagramas de esfuerzo cortante(azul) y momento flector(verde) | 68 |
| Figura 59. Medidas y configuración final del eje..... | 69 |

| | |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 60. Representación de acople por bridas | 69 |
| Figura 61. Secciones que conforman el eje | 70 |
| Figura 62. Configuración de la brida | 70 |
| Figura 63. Esfuerzo que soportan los pernos | 71 |
| Figura 64. Disposición de cintas helicoidales sobre el eje | 72 |
| Figura 65. Diagrama de cuerpo libre de la barra de soporte | 72 |
| Figura 66. Diagramas de esfuerzos cortantes y momento flector de barras de soporte | 73 |
| Figura 67. Sistema de fijación para rodamientos y reten al depósito..... | 77 |
| Figura 68. Diseño 3d en SolidWorks del sistema de fijación de rodamiento y reten | 77 |
| Figura 69. Medidas de sistema de fijación..... | 78 |
| Figura 70. Agujeros para pernos | 78 |
| Figura 71. Esquema hidráulico para el sistema de refrigeración | 80 |
| Figura 72. Electroválvula | 81 |
| Figura 73. Bomba Drain Pump Mabe | 81 |
| Figura 74. Válvula check de paleta de ½ pulgada..... | 82 |
| Figura 75. Diagrama eléctrico del fermentador | 83 |
| Figura 76. Controlador de temperatura STC-1000 | 84 |
| Figura 77. Diagrama de conexión del controlador STC-1000 | 85 |
| Figura 78. Torre de refrigeración | 85 |
| Figura 79. Relé Camco de 8 pines..... | 86 |
| Figura 80. Temporizador semanal DHC15A | 86 |
| Figura 81. Mezcladora de carne de 25kg | 87 |
| Figura 82. Propuesta de bastidores..... | 88 |
| Figura 83. Bastidores para el fermentador | 88 |
| Figura 84. Medidas y distribución de la estructura para el fermentador..... | 89 |
| Figura 85. Bastidor cubierto con plancha de acero galvanizado..... | 89 |
| Figura 86. Planchas de acero ANSI 430 cortadas | 90 |
| Figura 87. Plancha interna del depósito | 90 |
| Figura 88. Proceso de rolado de planchas del depósito | 91 |
| Figura 89. Planchas del depósito roladas | 91 |
| Figura 90. Piezas para construir el desmucilaginador..... | 92 |
| Figura 91. Cubierta frontal/trasera del depósito..... | 92 |
| Figura 92. Proceso de ensamble del depósito | 93 |
| Figura 93. Mezclador de cintas helicoidales | 93 |

| | |
|---------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 94. Depósito ensamblado..... | 94 |
| Figura 95. Construcción del bastidor | 94 |
| Figura 96. Ensamble de los bastidores | 95 |
| Figura 97. Conexión del sistema hidráulico..... | 95 |
| Figura 98. Conexión de tablero de control para el fermentador..... | 95 |
| Figura 99. Tablero de control..... | 96 |
| Figura 100. Fermentador completo | 96 |
| Figura 101. Peso del café despulpado en grupos. | 97 |
| Figura 102. Medición de espacio libre de café despulpado | 98 |
| Figura 103. Gráfica de prueba de funcionamiento número 1..... | 98 |
| Figura 104. Gráfica de prueba de funcionamiento número 2..... | 99 |
| Figura 105. Gráfica de prueba de funcionamiento número 3..... | 99 |

Índice de anexos:

| | |
|----------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Anexo 1. Módulos de resistencia de sección transversal de varias formas..... | 109 |
| Anexo 2. Momentos de inercia según la forma del eje | 109 |
| Anexo 3. Factor del diámetro del transportador F_d | 109 |
| Anexo 4. Factor del buje para colgante F_b | 110 |
| Anexo 5. Factor por porcentaje F_f de carga de transportador..... | 110 |
| Anexo 6. Factor de paleta F_p | 110 |
| Anexo 7. Factor de sobrecarga F_o | 111 |
| Anexo 8. Factor de eficiencia e de las transmisiones | 111 |
| Anexo 9. Capacidad para transportadores helicoidales horizontales. | 111 |
| Anexo 10. Factores radiales y axiales de los rodamientos rígidos de bolas | 112 |
| Anexo 11. Factor f_0 para rodamientos rígidos de bolas | 113 |
| Anexo 12. Propiedades del agua a diferentes temperaturas | 113 |
| Anexo 13. Viscosidad dinámica y cinemática del agua..... | 114 |
| Anexo 14. Conductividad térmica de materiales | 114 |
| Anexo 15. Característica de factor de seguridad A, B, C | 115 |
| Anexo 16. Características del factor de seguridad D y E..... | 115 |
| Anexo 17. Cables de baja tensión de Centelsa..... | 116 |
| Anexo 18. Rodamientos FAG..... | 117 |
| Anexo 19. Chumaceras FAG | 118 |
| Anexo 20. Características de materiales. | 119 |
| Anexo 21. Medición de espacio vacío del depósito..... | 120 |
| Anexo 22. Descarga del café..... | 120 |
| Anexo 23. Control de la temperatura. | 120 |
| Anexo 24. Primera muestra de café fermentado. | 121 |
| Anexo 25. Segunda muestra de café fermentado | 121 |
| Anexo 26. Tercera muestra de café fermentado..... | 121 |
| Anexos 27. Planos del fermentador, CD-ROM 1 | 117 |
| Anexo 28. Certificado de traducción del resumen..... | 122 |

1. Título

Diseño y Construcción de un Fermentador Aerobio de Café con Control de Temperatura

2. Resumen

En el presente trabajo se contempla el diseño, construcción y evaluación de un fermentador aeróbico de café con control de temperatura para mejorar el proceso de fermentación en el beneficio húmedo del café.

Primeramente, se identifican máquinas similares o análogas como mezcladores de masa y polvos para reconocer los mecanismos y partes que las conforman. Además, de reconocer como funcionan, luego se selecciona la forma del depósito, tipo de mezclador, sistema de refrigeración/calefacción y sistema de control a diseñarse, teniendo en cuenta la maniobrabilidad, tiempo de mezclado y variables a controlar en el fermentador como el tiempo y temperatura. En cuanto a lo que respecta los materiales, se utilizan los que se encuentran disponibles en el mercado local, para el depósito se requiere acero inoxidable, mientras que para la estructura acero galvanizado debido a que se trabaja con fluidos y se busca evitar la aparición de óxido, en el sistema de recirculación de agua se utiliza manguera de nivel, válvulas check y electroválvulas, mientras que el sistema de control se conforma principalmente por relés y un controlador de temperatura, los sistemas fueron diseñados teniendo en cuenta su futuro mantenimiento y validando sus piezas.

Finalmente, para realizar las pruebas de funcionamiento de la máquina se utilizan 22lb de café despulpado obtenido de la ciudad de Alamor. Se realizaron tres pruebas con un tiempo de fermentación de 14 horas obteniéndose resultados muy buenos en cuanto a la precisión del control de la temperatura durante el proceso de fermentación aerobia, constatando que la máquina funciona correctamente.

Palabras clave: *café, construcción, diseño, fermentador, máquina, temperatura, tiempo.*

Abstract

This work contemplates the design, construction and evaluation of an aerobic coffee fermenter with temperature control to improve the fermentation process in the wet benefit.

First, similar or analogous machines such as dough and powder mixers are identified to recognize the mechanisms and parts that make them up, in addition to recognizing how they work, then the shape of the tank, type of mixer, cooling/heating system and control system to be designed are selected, taking into account maneuverability, mixing time and variables to control in the fermenter such as time and temperature. As for the materials, those available in the local market are used; stainless steel is required for the tank, while galvanized steel is required for the structure because it works with fluids and seeks to avoid the appearance of rust, in the water recirculation system a level hose, check valves and solenoid valves are used, while the control system is mainly made up of relays and a temperature controller, the systems were designed taking into account their future maintenance and validating their parts.

Finally, to carry out the machine's operation tests, 22lb of pulped coffee obtained from the city of Alamor is used. Three tests were carried out with a fermentation time of 14 hours, obtaining very good results in terms of the precision of temperature control during the aerobic fermentation process, confirming that the machine works correctly.

Keywords: coffee, construction, design, fermenter, machine, temperature, time.

3. Introducción

La fermentación del café es un proceso poco conocido y aplicado por los productores de café en Ecuador pese a que esta afecta directamente en la calidad de taza que se obtiene de acuerdo a (Puerta, 2010). La mayoría de los caficultores utilizan técnicas de fermentación y procesos de postcosecha tradicionales heredados durante generaciones. La poca aplicación de la fermentación en el Ecuador se debe al escaso desarrollo científico y tecnológico de herramientas que faciliten la aplicación de la fermentación.

En el presente trabajo propone el diseño y construcción de una máquina para fermentación de café con sistema de control de temperatura con la finalidad de facilitar el control y aplicación de los procesos de fermentación aeróbica, mejorando directamente las propiedades obtenidas en la bebida y los precios con los que se cotiza.

Con el propósito de definir el diseño apropiado de la máquina, es necesario caracterizar los procesos de fermentación, así como las condiciones y factores que inciden, con ello se pretende seleccionar los sistemas, componentes y dispositivos idóneos para fermentar 22 lb de café. Para lograr el diseño se plantean los siguientes objetivos:

- Definir las variables y parámetros de la fermentación aerobia de café.
- Diseñar un fermentador aerobio para café con capacidad de 22lb.
- Construir y evaluar el funcionamiento del fermentador diseñado.

El Trabajo de Integración Curricular comprende varias secciones, en la primera se realiza una revisión bibliográfica dividida en dos capítulos, el primer capítulo abarca todo lo relacionado con la fermentación y sus procesos; el segundo capítulo comprende las nociones del diseño electromecánico necesarias como bastidores, rodamientos, ejes, mezcladores, engranes, motores, fundamentos de transferencia de calor y mecánica de sólidos.

En la sección de metodología se indica el conjunto de pasos a seguir para cumplir con los objetivos, se revisan puntos tales como la descripción de la máquina para dimensionamiento de todos los elementos que la conforman.

En la sección de resultados se ubican los elementos idóneos obtenidos del cálculo y dimensionamiento en la metodología para finalmente presentar conclusiones y recomendaciones obtenidas durante el presente estudio del proyecto.

4. Marco Teórico

4.1. Capítulo I: La Fermentación del Café, Factores, Condiciones y Procesos

4.1.1. Proceso del Beneficio Húmedo del Café

Según Puerta (2000), el beneficio del café consiste en el proceso de transformación del café, que va desde el grano de café en cereza hasta el pergamino seco, en el proceso se separa la parte del fruto y se seca el grano para que se conserve adecuadamente.

El beneficiado húmedo del café comprende las etapas de recolección, despulpado, remoción del mucílago, lavado, clasificado, secado, trilla y exportación, en este proceso necesariamente se debe extraer el mucílago del grano de café en la etapa de lavado, a diferencia del beneficiado húmedo que comprende cuatro etapas, estas son la recolección, secado, trilla y exportación, para este proceso se infiere que no se retira la cáscara del grano de café y se lo seca directamente. En la **Figura 1** se observa las etapas de cada proceso de beneficiado (Puerta, 2000).

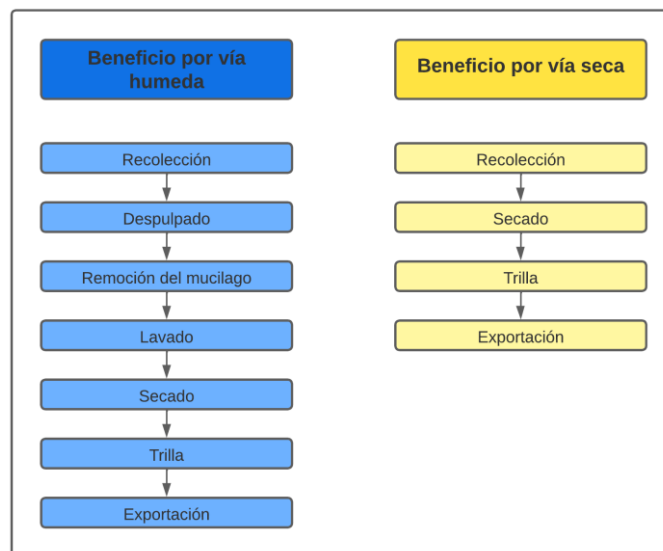


Figura 1. Procesos de beneficiado para obtener café seco

Fuente: (Puerta, 2000)

El proceso de beneficiado húmedo de café se aplica en Colombia, Costa Rica, Guatemala, México, El Salvador y Kenia entre otros países de África y Suramérica, esto debido a que ayuda a obtener características más suaves en la bebida en comparación con el proceso por vía seca que presentan notas más fuertes de cuerpo y amargo.

4.1.1.1. Recolección.

La cosecha es una de las etapas con mayor importancia en el proceso del beneficiado del café. El proceso de la cosecha consiste en recolectar los frutos ya maduros de la planta de café pudiéndose realizar varias pasadas debido a que el café no madura uniformemente al

florecer de manera escalonada y por lo tanto se genera una maduración secuencial (Universidad Nacional Agraria La Molina [UNALM], 2013).

El Servicio Nacional de Aprendizaje (SENA, 2004), también coincide en que la recolección es una de las etapas más importantes en el proceso del beneficiado del café, pues los caficultores invierten gran cantidad de recursos en mano de obra para alcanzar una buena producción y recolección.

El método de cosecha con mayores beneficios es el de la cosecha selectiva, que consiste en recolectar solamente los granos de café maduros, uno por uno sin desprender el peciolo de las ramas (UNALM, 2013).

UNALM (2013) afirma que las pasadas en la recolección del café se encuentran diferenciadas, la primera pasada se denomina “rebusca”, las siguientes 2 o 3 pasadas que se realizan son conocidas como cosechas plenas, en estas la cantidad de fruto que se recolecta es mayor debido a la homogeneidad de café maduro presente en las plantas, después, se tiene la pasada final, en esta se recolectan todos los frutos, estén maduros, verdes, pintones o secos. En la **Figura 2** se puede observar los tipos de café que se pueden cosechar.



Figura 2. Etapas de maduración del café

Fuente: (Incapto, 2022)

4.1.1.2. Clasificación de la fruta.

El grano de café debe clasificarse en la etapa previa al despulpado, esto se debe a que en la recolección se tienen frutos vanos, secos y verdes. El proceso más usado para clasificar la fruta es el método por densidad, es decir aplicando el método del boyado en un sifón o tanque, este proceso requiere de agua para poder separar los frutos brocados, flotes e impurezas que influyen en la calidad de la bebida negativamente (Lineamientos a seguir conducentes, 2010).

Con base en lo expresado por el Centro de investigaciones CEDICAFÉ (2018), se debe asegurar que el café no sea mezclado con cosechas de diferentes días, para ello se realiza un

muestreo donde se analiza el estado del fruto, separando granos verdes, semi maduros, sobre maduros, secos, enfermos y brocados, ya que se deben procesar por separado para mantener la calidad del fruto, el proceso de clasificación comúnmente se realiza manualmente.

La forma más rápida de clasificar el café es por medio del boyado, para ello se utiliza agua y estanques separando el café de buenas condiciones del seco y vano (CEDICAFÉ, 2018)

El café que flota está conformado principalmente por varios tipos (Red de Técnicos en Beneficiado de PROMECAFE, 2010):

- El fruto seco que se considera como un fruto anormal, reseco y negro, resultado las enfermedades o cosecha fuera de tiempo.
- El fruto con apariencia normal, pero liviano por contener únicamente un grano vacío y otro normal.

En la **Figura 3** se indica el proceso de clasificación (izquierda) y boyado (derecha) del fruto de café en cereza.



Figura 3. Proceso de selección y boyado de café cereza.

Fuente: (CEDICAFÉ, 2018)

4.1.1.3. Despulpado.

Entre la pulpa y el pergamino del grano de café ya maduro se encuentra un líquido viscoso conocido como mucílago, Puerta y Ríos (2011) afirman que:

El mucílago fresco presentó entre 85% a 91% de agua y entre 6,2% y 7,4% de azúcares, constituidos por 63% de azúcares reductores. El contenido de azúcares y las levaduras y bacterias del mucílago de café explican su propiedad perecedera, y la ocurrencia de su fermentación natural. Durante la fermentación a temperatura ambiente, los azúcares totales y reductores del mucílago de café disminuyeron, aumentó la acidez, se formó el etanol y se degradaron los lípidos. En refrigeración estos cambios fueron más lentos y se retrasaron las fermentaciones alcohólica y láctica, y se conservaron hasta por 24 horas las características del mucílago de café. (p. 23)

En la etapa del despulpado, al café se le realiza la extracción del epicarpio o pulpa mediante máquinas despulpadoras que trabajan basándose en el principio de fricción y cizallamiento causada por dos superficies, una móvil y otra fija, las despulpadoras pueden ser de eje vertical u horizontal. El uso de agua en la etapa de despulpado puede empobrecer la pulpa. En diferentes ensayos realizados comparando despulpadoras con y sin la aplicación de agua, se ha demostrado que la diferencia en la capacidad de la despulpadora es mínima junto al efecto que se tiene en la calidad del grano despulpado, por lo que es conveniente evitar el uso de agua y reducir el impacto ambiental (Álvarez, 1991).

Puerta (1999) menciona que se pueden generar fermentaciones no deseadas debido a la mala calibración de la máquina despulpadora que no separa completamente la pulpa del grano (granos guayaba). Roa et al. (1999) también afirman que la separación incompleta de la pulpa y el grano de café ocasiona aromas a fermento apreciables en el pergamino del café, además estos se acentúan conforme aumente la cantidad de fruta sobre madura cosechada, además de los defectos por fermentación ocasionados por una mala calibración, también se pueden ocasionar granos mordidos y cortados que dañan la apariencia física y estética del pergamino afectando al caficultor. Los granos normales, mordidos y tipo guayaba se ilustran en la **Figura 4**.



Figura 4. Granos buenos, mordidos y guayaba.

Fuente: (CENICAFÉ, 2004)

4.1.1.4. Remoción del Mucílago por Fermentación

Primeramente, se debe fermentar el café, Peñuela et al., (2014) indica que la fermentación del café se genera naturalmente e intervienen factores biológicos, químicos y físicos, con el propósito de que la estructura del mucílago se degrade y sea fácilmente removido.

Para el proceso de fermentación, existen tiempos establecidos, ya que si se realiza de forma tradicional se corre el riesgo de dañar la calidad de la bebida. Algunos autores indican el tiempo que puede durar este proceso sin que afecte la calidad de la bebida. Cleves (1998) indica que la fermentación necesaria para poder remover el mucílago de casi todos los cafés conlleva de 24 a 36 horas, dependiendo de la temperatura ambiente, Peña et al., (2013) cita que los

periodos de fermentación pueden ir desde 5 hasta 30 horas sin llegar a influir en la calidad de taza de forma significativa.

4.1.1.5. Lavado y Clasificación

La etapa del lavado del café permite extraer de forma completa el mucílago fermentado del grano. Para el proceso del lavado se debe usar agua limpia para evitar el grano manchado, sucio con sabor a fermento y contaminación. Normalmente se usa el mismo tanque usado en la fermentación para lavar el café (Cenicafé, 2004).

En la **Figura 5** obsérvese el tanque propicio para realizar el lavado del café, es recomendable que tenga los ángulos y esquinas curvas para mayor facilidad de lavado.



Figura 5. Lavado del café.

Fuente: (CENICAFÉ, 2004)

4.1.1.6. Secado

Después de la etapa de lavado procede la del secado, esta se puede realizar de forma solar o mecánica, para ambos casos se debe retirar antes la pulpa y el mucílago con métodos rápidos para iniciar la etapa de secado, esto se debe a que el café es una fruta altamente perecedera y presenta alta actividad fisiológica inmediatamente después de la cosecha para evitar inconvenientes tales como la disminución de peso en seco y calidad de la bebida (Roa et al., 1999).

La etapa del secado se considera importante para mantener las características del café, además se debe asegurar la inocuidad del producto para que sea apto para el consumo humano.

Para fincas con extensiones menores a 5 hectáreas se usan secadores solares, carros secadores y los patios entre otros, en cambio para fincas mayores a 5 hectáreas comúnmente se utilizan secadores mecánicos que disponen de una cámara donde se ubica el café húmedo que será secado por convección forzada, los secadores mecánicos requieren de algún tipo de

combustible y se consideran contaminantes y caros, mientras que los secadores solares presentan mayor economía para el caficultor (Puerta, 2008)

El café inicia con porcentajes de humedad elevados en comparación con otros productos como el maíz, en el caso del café se debe reducir la humedad desde el 50% hasta el 12%, mientras que para el maíz se debe reducir la humedad desde el 20% hasta el 12%.

El secado del café es un proceso complejo y de mucho cuidado, ya que además de no ser un producto consistente, que pierde fácilmente la pulpa se pueden generar inconvenientes como es la ausencia de aire y sol durante los primeros días de secado, esto puede generar hongos en el café (Roa et al., 1999).

El valor de humedad establecido a nivel internacional para almacenar el café de forma segura y sin que sufra alteraciones en la calidad de taza es del 10-12% de humedad, este rango no está establecido al azar, sino que corresponden a relaciones de equilibrio higroscópico o de equivalencias de presión de vapor en la superficie del grano y el aire que lo rodea (Trejos et al., 1989).

4.1.2. Fermentación del Café

Una vez que se despulpa el café, se deja en reposo para que se fermente y se fluidiza el mucílago mediante la acción de enzimas y microorganismos existentes en el grano (fermentación natural del mucílago). La fermentación del mucílago inicia con la degradación de la pectina y otras sustancias pécticas en ácido galacturónico. En la fermentación las azúcares se transforman primeramente en alcoholes, luego se deja en condiciones aeróbicas en ácidos orgánicos (Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura [IICA], 2010).

Cuando el mucílago se ha degradado lo suficiente para que sea sencillo removerlo se procede a realizar el lavado del grano, bien sea en tanques o mecanismos como el canal de correteo para casos de productores con gran volumen de café.

En la fermentación del café se pueden generar defectos sobre el grano de café y la calidad de la bebida, el proceso de fermentación es heterogéneo y el café en baba es depositado sobre tanques de fermentación aun con cortezas y restos de pulpa, así se deja en reposo durante varias horas para que el mucílago se drene y desprenda con facilidad, debido a los defectos que se pueden generar por la fermentación, es recomendable que el rango de tiempo esté entre 14 y 16 horas según Puerta (2015).

Tiempos largos de fermentación ocasionan la degradación de la calidad cuando se procesa sin clasificaciones previas y además se realizan malas prácticas durante el beneficiado. Los sabores más comunes que se desarrollan son desagradables, agrios, cebollas y stinker, esto

debido al ácido acético, propiónico u butírico (Puerta, 2015). En la **Figura 6** se muestran los resultados de cómo se desarrollan los sabores a stinker y terroso:

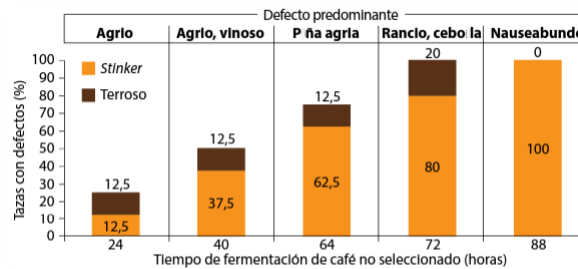


Figura 6. Defectos del café no seleccionado por sobre fermentación y malas prácticas de cosecha y beneficio. Análisis sensorial con 12 repeticiones por muestra y seis jueces.

Fuente: (Puerta, 2015)

4.1.3. *Procesos y Mecanismos de la Fermentación Aeróbica*

4.1.3.1. **Fermentación Aeróbica**

La fermentación aeróbica es la más usada, pero en el que menos se puede controlar los factores que inciden, como la temperatura ambiente y la aireación. Normalmente se utilizan tanques de concreto o baldosa con bordes redondeados para que al momento de realizar el lavado sea mucho más sencillo extraer el mucílago.

La fermentación natural se puede realizar agregando agua o en seco, al agregar agua se aumenta el tiempo de fermentación que se le puede dar al mucílago, esto se debe a que se genera la inoculación enzimática, facilitando periodos más largos y controlables de fermentación. Según Puerta (2012) el proceso de fermentación controlada ayuda a desarrollar bebidas con aromas y sabores de buena calidad y especiales, por el contrario, cuando se sobrepasa el tiempo de fermentación se pueden generar defectos en la calidad de la bebida.

Para el dimensionamiento de las pilas o tanques que se van a usar en la fermentación natural, se debe considerar la producción o abastecimiento de café para los días de recolección pico, ya que caso contrario se puede generar un acumulamiento de café con capas gruesas lo que generan imperfecciones en el café. Para la construcción de los tanques y dimensionamiento de los tanques se utilizan los valores de la **Tabla 1**, se puede observar que hay valores distintos para café seleccionado y sin seleccionar, esto se debe a que el café sin seleccionar presenta impurezas como granos vanos, secos y brocados que afectan directamente al peso del mismo.

Tabla 1.*Equivalencias del café y sus derivados.*

| Para convertir de | A | Multiplique por | |
|-------------------|--------------|-------------------|----------------------|
| | | Café seleccionado | Café sin seleccionar |
| Cereza | Pergamino | 0,20 | 0,20 |
| | Baba | 0,55 | 0,55 |
| | Almendra | 0,16 | 0,16 |
| | Seco de agua | s.d. | s.d. |
| | Húmedo | 0,39 | 0,41 |
| | Pulpa fresca | 0,43 | 0,43 |
| | Pulpa mojada | s.d. | s.d. |

Fuente: (Montilla et al., 2008).

En los sistemas de fermentación se pueden encontrar: fermentaciones sólidas, sumergidas, cerradas y abiertas (Puerta, 2015).

Según Puerta (2015) en las fermentaciones sólidas el café se vierte en el fermentador sin adicionar agua mientras el desagüe se mantiene tapado, en las fermentaciones sumergidas el café en baba se vierte en el fermentador y luego se le adiciona agua según la masa de café a fermentar al 30%, es decir, se adicionan 30 L de agua por cada 100 kg de café en baba, mediante este método se obtienen fermentaciones más homogéneas.

En cuanto a las fermentaciones abiertas y cerradas, Puerta (2015) indica que:

En las fermentaciones del café abiertas ocurren natural y simultáneamente las fermentaciones lácticas por *Lactobacillus* spp. y *Streptococcus* spp., y la fermentación alcohólica por las levaduras, principalmente *Saccharomyces cerevisiae*. Por el contrario, en los sistemas cerrados, los fermentadores se tapan, lo cual favorece también el desarrollo de fermentaciones mixtas, por la *Enterobacteriácea*. (p. 4)

En la fermentación se considera crítico el tiempo de fermentado, debido a que por sobre fermentación se pueden generar café con sabor y aroma a vinagre, piña madura, cebolla, rancio y nauseabundo. En la fermentación natural intervienen bacterias, levaduras y enzimas que se encargan de convertir los compuestos del mucílago en alcoholes, ácidos carboxílicos, acético, láctico, propiónico y butírico que en el lavado se retiran (Roa et al., 1999).

Puerta (2012) cita que los compuestos que se forman en la fermentación dependen de factores, en particular de la calidad del sustrato, madurez y sanidad del fruto ya despulpado; además también depende de factores ambientales como es la higiene en las instalaciones, temperatura externa, ambientes y equipos, tiempo y sistema de fermentación; es decir, pueden usarse sistemas abiertos, cerrados, estáticos, agitados, sólidos, sumergidos, temperatura constante, pH constante, etc.

Con base en un estudio realizado por Puerta (2015) en la **Tabla 2**.

Tabla 2.

Olores del mucílago de café fermentado controlado a 20°C.

| Tiempo de Fermentación | Abierto Sumergido | Abierto Sólido | Cerrado Sumergido | Cerrado Sólido |
|------------------------|------------------------------------------------------|------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------------------------|
| 14 | Dulce | Dulce | Dulce, manzana verde | Dulce |
| 18 | Banano, limón, verde | Banano, limón, verde | Leche caliente, acetona | Acetona, leche caliente |
| 42 | Apio, cascara de plátano maduro, césped húmedo | Acetona, ácido acético | Acetona, removedor, ácido acético | Ácido acético, perejil, acetona |
| 66 | Limón, cáscara de plátano maduro, kumis, leche agria | Acetona, basura | Vinagre, piña madura | Acetona, removedor, basura |
| 88 | Limón, cascara de plátano maduro, verdoso | Basura, acre | Basura, guayaba, verde | Acetona, cascara de plátano maduro, basura, podrido |

Fuente: (Puerta, 2015).

La mayoría de las levaduras del café se desarrollan entre 5 y 39° C, con temperaturas óptimas entre 28 y 35° C, las bacterias lácticas crecen entre 25 y 30° C, mientras que las bacterias entéricas crecen entre 22 y 37° C. Durante la fermentación se producen variaciones de temperatura en los granos de café, consecuentemente este proceso genera energía, llegándose a temperaturas más elevadas en el sistema a las del aire externo (Puerta, 2012). En la **Figura 7** se indica los cambios de temperatura que tiene la masa de café al fermentarse con el pasar de las horas.

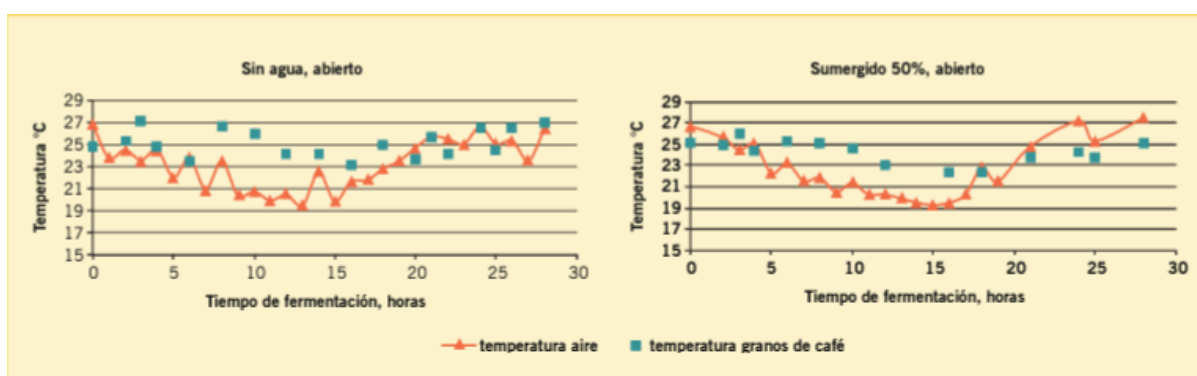


Figura 7. Cambios de temperatura de los granos de café durante la fermentación en sistemas abiertos, sin agua y sumergido al 50%, a temperatura externa promedio de 23° y 25° C.

Fuente: (Puerta, 2012)

Según Puerta y Echeverry (2015) cuando la fermentación del café se realiza en condiciones de temperatura ambiente a 15° C se aumenta la frecuencia con la que se obtienen sabores especiales con calidad superior en relación con la calidad de sabores que se obtiene con temperaturas de 18 a 25° C en sistemas abiertos- sólidos, abierto-sumergido, cerrado- sólido,

cerrado-sumergido, en la **Figura 8** y **9** se encuentran ubicados los resultados de las pruebas realizadas por Puerta y Echeverry (2015).

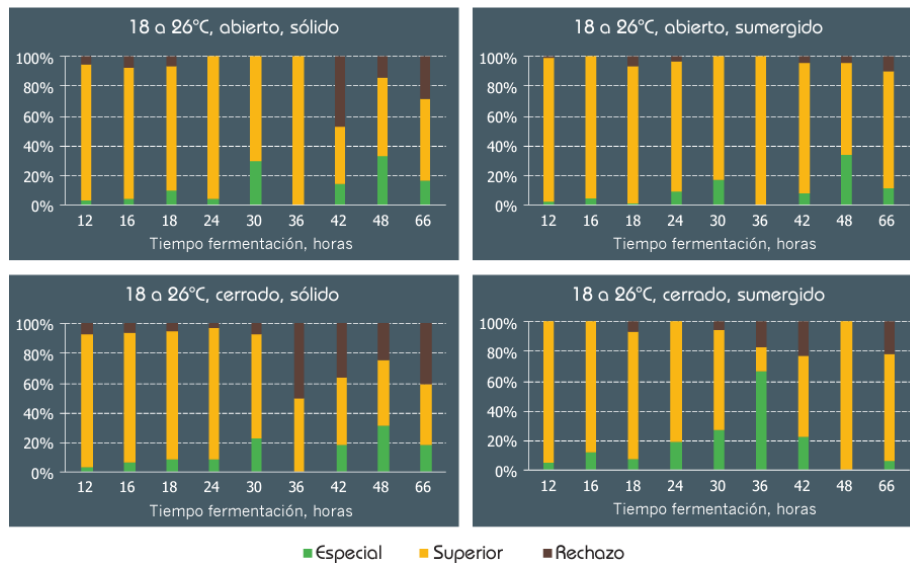


Figura 8. Proporción de calidad especial, superior y rechazo de calidad del café fermentado a temperaturas entre 18 y 26° C y tiempos de 12 hasta 66 h, según los diferentes sistemas, en café maduro seleccionado.

Fuente: (Puerta y Echeverry, 2015)

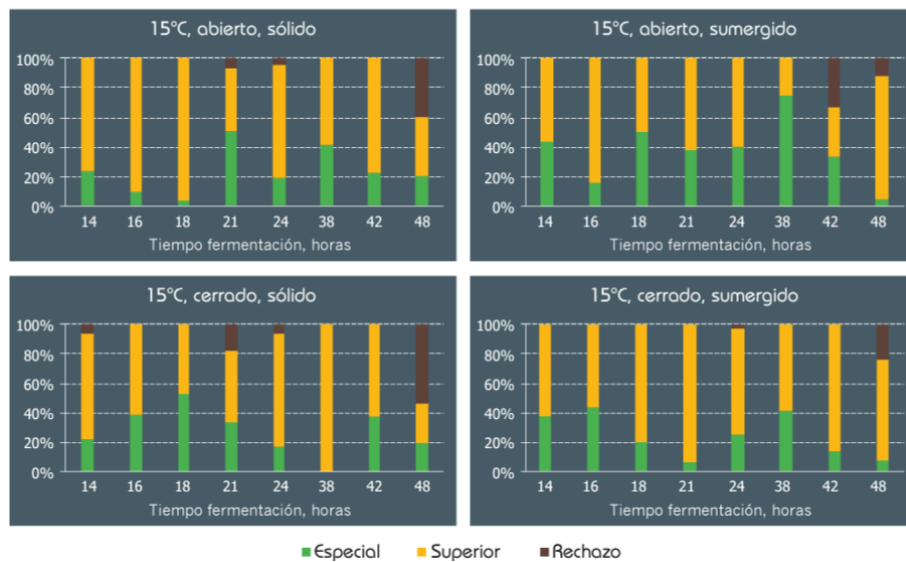


Figura 9. Proporción de calidad especial, superior y rechazo de calidad del café fermentado a 15° C y tiempos de 14 hasta 48 h, según los diferentes sistemas, en café maduro seleccionado.

Fuente: (Puerta y Echeverry, 2015)

4.2. Capítulo II: Nociones de Diseño Electromecánico

4.2.1. Factor de seguridad

Según Hamrock et al., (2000) al realizar 500 pruebas a la tensión sobre una muestra de material se pueden obtener 500 resistencias diferentes a la fluencia si la precisión de las mediciones son óptimas. Dependiendo del material se pueden obtener rangos amplios de resistencias o resistencias mínimas razonables, sin embargo, estas resistencias no son las que aplican los ingenieros en sus diseños, por ello se suele usar el factor de seguridad que aumenta la fiabilidad del diseño ante fallas, el factor de seguridad se expresa con la ecuación (1).

$$n_s = \frac{\sigma_{perm}}{\sigma_d} \quad (1)$$

donde σ_{perm} es el esfuerzo normal permisible en pascales y σ_d el esfuerzo normal de diseño en pascales.

Si el factor de seguridad presenta valores superiores a 1 el diseño se considera adecuado y entre mayor sea el factor de seguridad más seguro es el diseño. En el caso contrario si el factor de seguridad es menor a 1, el diseño se considera como inadecuado y posiblemente necesitara un rediseño.

Para determinar el factor de seguridad adecuado en el diseño de una máquina se puede aplicar el método de Pugsley, sin embargo, el factor de seguridad en la práctica real resulta nebuloso y normalmente se suele seleccionar con base en la experiencia del diseñador (Hamrock et al., 2000).

Según el método de Pugsley el factor de seguridad se determina por la ecuación (2).

$$n_s = n_{sx}n_{sy} \quad (2)$$

donde n_{sx} es el factor de seguridad que involucra características de calidad de materiales (A), control sobre la carga (B), exactitud del análisis del esfuerzo, información experimental o experiencia con dispositivos similares (C), n_{sy} es el factor de seguridad que involucra características de peligro para el personal (D) e impacto económico (E).

Los valores de los factores que relacionan n_{sx} y n_{sy} se ubican en el **Anexo 15** y **Anexo 16**.

4.2.2. Cilindro de pared delgada

Un depósito que contenga una sustancia a una presión se encuentra sometido a fuerza de tensión en sus secciones longitudinales y transversales, por lo que sus paredes deben resistir estas fuerzas para impedir que estalle (Pytel y Singer, 1987).

Donde F es la fuerza de presión, p es la presión de la sustancia sobre la pared del cilindro, D el diámetro del cilindro y L la longitud. En la **Figura 10** se indica la forma en la que actúa el esfuerzo.

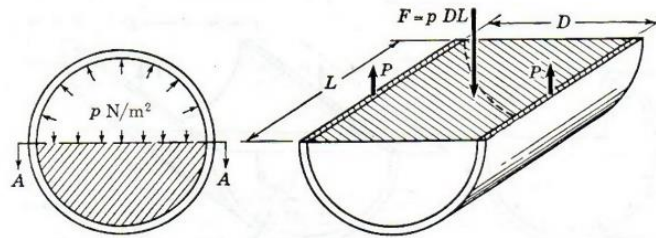


Figura 10. Esfuerzo tangencial en un cilindro

Fuente: (Pytel y Singer, 1987)

La **ecuación (3)** describe el esfuerzo longitudinal.

$$\sigma_1 = \frac{\rho D}{2t} \quad (3)$$

donde σ_1 es el esfuerzo longitudinal, ρ es la presión en el cilindro, D el diámetro interior y t el espesor de pared del cilindro.

Vallejo (2017) indica que para prevenir fallas se utiliza el criterio de fluencia y la teoría del esfuerzo cortante máximo para luego combinarlo con el factor de seguridad. La dicha teoría para prevenir fallas establece que el esfuerzo cortante máximo no debe ser igual a la mitad del límite de fluencia, mírese la **ecuación (4)**.

$$\tau_{\max} = \sigma_1 = \frac{S_y}{2\eta_s} \quad (4)$$

Por lo que se puede calcular el espesor de la pared de un cilindro con la **ecuación (5)**.

$$t = \frac{\rho D \eta_s}{S_y} \quad (5)$$

4.2.3. Segunda ley de Newton para una partícula en movimiento circular uniforme

En el movimiento circular uniforme una partícula se traslada con rapidez constante v en una trayectoria circular constante de radio r (Serway y Vuille, 2012).

Obsérvese la **Figura 11** se observa una partícula con movimiento circular uniforme.

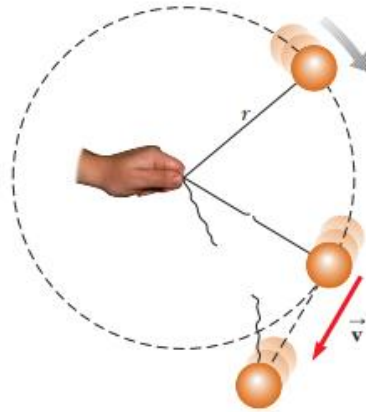


Figura 11. Partícula con movimiento circular uniforme

Fuente: (Serway y Vuille, 2012).

Al incorporar el concepto de fuerza sobre la partícula en movimiento circular uniforme se le debe asimilar una masa a la misma, y basándose en el concepto de la segunda ley de Newton se puede obtener la fuerza mediante la **ecuación (6)**.

$$F = ma_c \quad (6)$$

donde F es la fuerza en la partícula y m la masa de la partícula y a_c la aceleración centrípeta que se caracteriza por la **ecuación (7)**.

$$a_c = \frac{v^2}{r} = \omega^2 r \quad (7)$$

Donde ω es la velocidad angular en $\frac{\text{rad}}{\text{s}}$.

4.2.4. Esfuerzo cortante

Según Pytel y Singer (1987), el esfuerzo cortante es producido por cargas que actúan paralelamente al plano que las resiste, estos aparecen siempre que las fuerzas aplicadas obliguen a que una sección del sólido tienda a deslizarse sobre la sección adyacente. En la **Figura 12** se muestra un caso donde se generan esfuerzos cortantes en un perno que sujeta dos planchas.

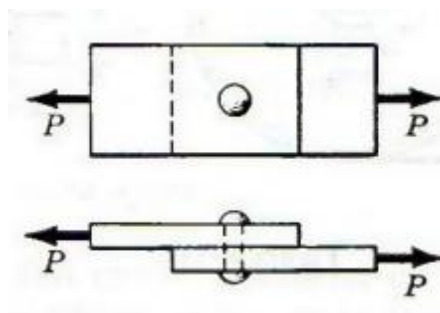


Figura 12. Esfuerzo cortante

Fuente: (Pytel y Singer, 1987)

La distribución del esfuerzo cortante en realidad no es uniforme en ningún caso, por lo que se establece un esfuerzo cortante medio, este viene dado por la **ecuación (8)**.

$$\tau = \frac{P}{A} \quad (8)$$

donde τ es el esfuerzo cortante medio, P es la carga y A la sección perpendicular a la carga.

El área depende de la sección que se analiza, por ejemplo, en la **Figura 13** de muestra el análisis de esfuerzo cortante para un perno donde la sección que debe soportar el esfuerzo cortante es la sombreada.

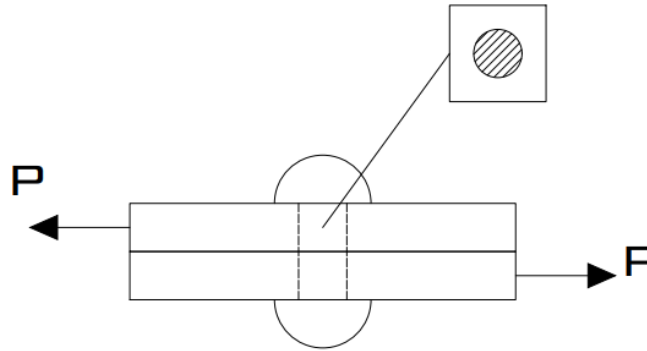


Figura 13. Sección de esfuerzo cortante

4.2.5. Esfuerzo de contacto o aplastamiento

El esfuerzo de aplastamiento es el que se genera en la superficie o área de contacto entre dos cuerpos. Este tipo de esfuerzo se lo puede evidenciar comúnmente en columnas, placas de apoyo, entre un eje y su cojinete, un remache, un perno y las paredes del orificio que lo sujetan. El esfuerzo de aplastamiento o contacto genera deformaciones en los cuerpos cuando este llega a la fluencia del material de la placa, en la **Figura 14** se observa este fenómeno.

Para analizar el esfuerzo debido al aplastamiento se asimila que este se distribuye uniformemente sobre la superficie de contacto proyectada sobre un plano diametral del orificio, perpendicular a la dirección de la fuerza (Pytel y Singer, 1987).

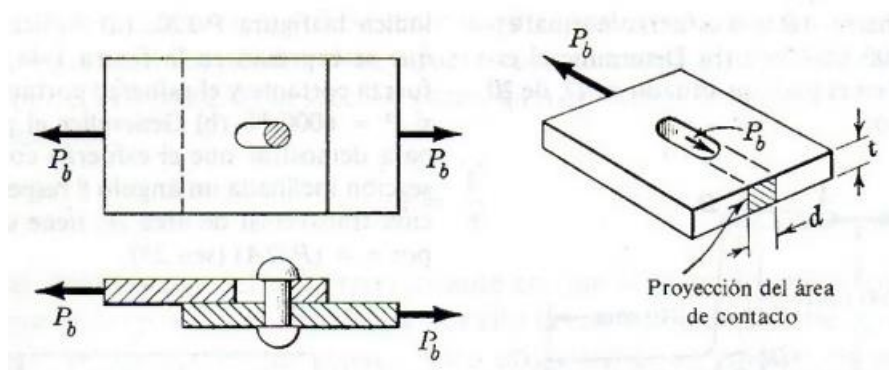


Figura 14. Deformaciones por esfuerzo de contacto

Fuente: (Pytel y Singer, 1987)

El esfuerzo de contacto se define por la **ecuación (9)**.

$$\sigma = \frac{P}{A} \quad (9)$$

donde σ es el esfuerzo por aplastamiento, P es la carga y A es la sección perpendicular a la carga.

4.2.6. Torsión en ejes

En la torsión el esfuerzo no se distribuye uniformemente dentro de una sección. La torsión en un eje lo obliga a deformarse por un movimiento de torsión, en la **Figura 15** se observa la deformación que intenta generar el esfuerzo en el eje circular.

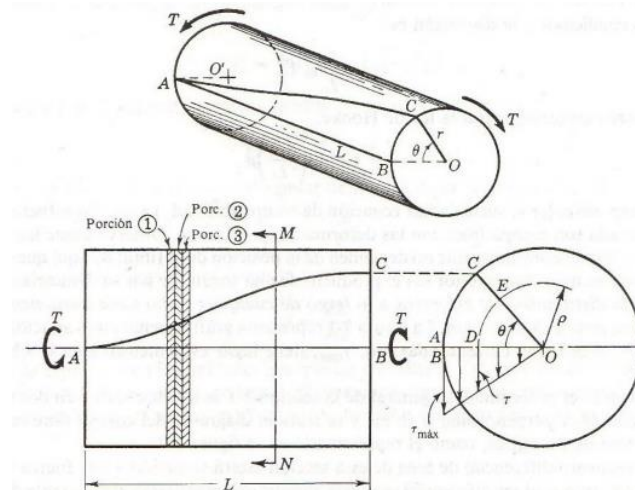


Figura 15. Deformación en un eje circular

Fuente: (Pytel y Singer, 1987)

En la **Figura 15** se puede observar que el esfuerzo cortante máximo se genera en las periferias del eje. Según Pytel y Singer (1987) el esfuerzo por torsión en un eje sólido se define por la **ecuación (10)**.

$$\tau = \frac{Tr}{J} \quad (10)$$

Donde τ es el esfuerzo, T el torque, r el radio y J el momento polar de inercia.

4.2.7. Flexión en vigas

En el campo de la ingeniería, muchos de los elementos sometidos a cargas o fuerzas externas tienden a deformarse, sin embargo, si el incremento de la carga continúa y el material no es lo suficientemente resistente, este llegará a la ruptura. En la **Figura 16** se indica la deformación por flexión que se genera en las vigas al soportar una carga.

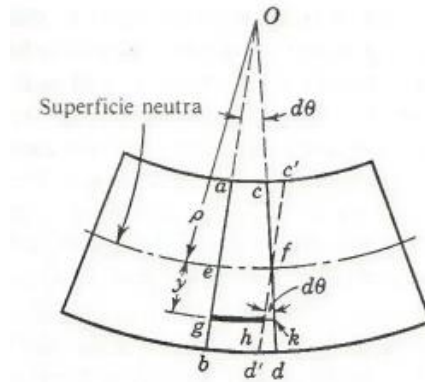


Figura 16. Deformación por flexión

Fuente: (Pytel y Singer, 1987)

Se denomina flexión a la deformación que se genera en un elemento alargado en una dirección perpendicular a su eje longitudinal, en este fenómeno se combinan esfuerzos de tracción y compresión. Un caso típico de la deflexión en estructuras son las vigas que están diseñadas principalmente para trabajar en flexión, además este concepto también es aplicable para elementos estructurales como placas o láminas (Pytel y Singer, 1987).

Un objeto sometido a flexión presenta una superficie de puntos llamada fibra neutra, de tal manera que la distancia a lo largo de cualquier curva que contenga no varía respecto al valor antes de la deformación. La flexión se define por la **ecuación (11)**.

$$\sigma = \frac{Mc}{I} \quad (11)$$

donde M es el momento flector máximo que soporta la viga, I el momento de inercia dependiendo de la sección y c es la distancia hasta la fibra de análisis.

El cociente $\frac{I}{c}$ se puede denominar como módulo de resistencia S, por lo que reemplazando se obtiene la **ecuación (12)**.

$$\sigma = \frac{M}{S} \quad (12)$$

4.2.8. Diseño de ejes

Budynas y Nisbett (2012) definen a una flecha como un elemento rotatorio de sección transversal circular usada para transmitir potencia o movimiento. La flecha puede constituir el eje de engranes, poleas, volantes de inercia, manivelas, ruedas dentadas o catarinas y miembros similares.

Un eje se distingue de la flecha por ser un elemento no giratorio que no permite transmitir par de torsión, su función es soportar ruedas rotatorias, poleas y otros elementos similares. Un eje se puede analizar como una viga estática (Budynas y Nisbett, 2012), Hamrock

et al. (2000) definen a un eje como un miembro rotatorio o estacionario de sección transversal circular, comúnmente mucho más pequeña que su longitud, además suele tener elementos adicionales montados como transmisores de potencia entre ellos engranes, poleas, bandas, levas, volantes, manivelas, ruedas dentadas y cojinetes de elementos rodantes.

Un eje debe soportar varios tipos de esfuerzos cortantes de choque, de flexión, axiales, normales y transversales. El parámetro que se calcula principalmente en un eje es su diámetro, que en aplicaciones prácticas suele ser variante en vez de tener uno constante.

Para poder determinar el diámetro de un eje, normalmente se plantea el círculo de Mohr que sirve para determinar los esfuerzos de flexión y cortantes máximos (Budynas y Nisbett, 2012). En la **Figura 17** se muestra el círculo de Mohr y sus componentes.

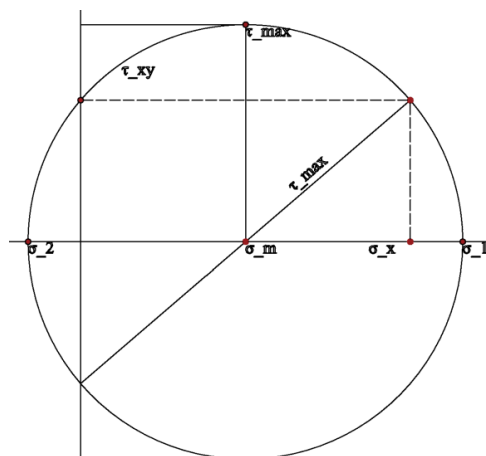


Figura 17. Círculo de Mohr

Analizando la configuración y geometría del círculo de Mohr se puede obtener con relativa facilidad la expresión que define al esfuerzo cortante máximo:

$$\tau_{\text{maximo}} = \sqrt{\sigma_m^2 + \tau_{xy}^2} \quad (13)$$

$$\sigma_m = \frac{\sigma}{2} = \sigma_x = \frac{16M}{\pi d^3} \quad (14)$$

$$\tau_{xy} = \tau = \frac{16T}{\pi d^3} \quad (15)$$

$$\sigma_1 = \sigma_m + \tau_{\text{maximo}} \quad (16)$$

$$\sigma_2 = \sigma_m - \tau_{\text{maximo}} \quad (17)$$

Reemplazando la **ecuación (14)** y **(15)** en la **ecuación (13)** para luego despejar el diámetro se tiene la **ecuación (18)**:

$$d = \sqrt[3]{\frac{16}{\pi \tau_{\text{maximo}}} \sqrt{(M^2 + T^2)}} \quad (18)$$

Reemplazando las ecuaciones obtenidas basándose en el círculo de Morh junto con la **ecuación (13)**, se obtiene la **ecuación (19)**.

$$d = \sqrt[3]{\frac{32n}{\pi S_y} \sqrt{(M^2 + T^2)}} \quad (19)$$

4.2.9. Transmisión de potencia y par de torsión

Generalmente, un sistema de transmisión de potencia se especifica basándose en una cantidad de potencia. Se debe considerar que la potencia de entrada es igual a la de salida, por lo que la potencia es igual a través de todo el sistema, sin embargo, debido a que el sistema está conformado por elementos mecánicos, estos generan pérdidas debido a factores como la fricción, las cajas de engranes presentan pérdidas cercanas del 1 al 2 por ciento, las bandas planas tienen eficiencias superiores al 90 por ciento, mientras que las bandas en V y los engranes sinfín tienen eficiencias bajas, inferiores al 90 por ciento (Budynas y Nisbett, 2012).

El par de torsión varía en las diferentes partes de un sistema de transmisión debido a que la potencia es igual al producto del par torsión y velocidad angular. Puesto que la potencia de entrada es igual a la de salida, esta relación se indica en la **ecuación (20)**.

$$P = T_i \omega_i = T_o \omega_o \quad (20)$$

donde:

T_i = Par torsor de entrada

T_o = Par torsor de salida

ω_o = Velocidad angular de salida

ω_i = Velocidad angular de entrada

H = Potencia en el sistema

La relación entre el par torsor a la entrada y salida se conoce como relación de transmisión, así mismo es la relación entre la velocidad angular a la entrada y salida, mírese la **ecuación (21)**.

$$e = \frac{\omega_o}{\omega_i} = \frac{T_i}{T_o} \quad (21)$$

Por otra parte, en los sistemas también es necesario determinar el torque requerido para el mecanismo. Este se calcula mediante la **ecuación (22)**.

$$T = F * d \quad (22)$$

donde T es el par torsor, F es la fuerza y d la distancia perpendicular al punto de referencia, el torque se mide en Nm

4.2.10. Cálculo de potencia por catálogo Martin

La potencia en cintas helicoidales es necesaria para poder determinar el motor que se debe utilizar para poder mover el mecanismo de cintas de la máquina.

Para este tipo de mecanismos, los cálculos se realizan en base a catálogos como por ejemplo el de Sprocket (2013) para transportadores helicoidales. La metodología que se utiliza está realizada en base a pruebas.

Para calcular la potencia cuando el mezclador está vacío se utiliza la **ecuación (23)**, para calcular la potencia cuando se encuentra con carga se utiliza la **ecuación (24)**.

$$HP_f = \frac{LNF_dF_b}{1000000} \quad (23)$$

$$HP_m = \frac{CLWF_fF_mF_p}{1000000} \quad (24)$$

donde L es la longitud del transportador en pies, N la velocidad de operación en rpm, F_d el factor del diámetro (**Anexo 3**), F_b el factor del buje para colgante (**Anexo 4**), C la capacidad en pies cúbicos por hora, W la densidad del material en libras por pie cúbico (**Anexo 20**), F_f el factor del helicoidal (**Anexo 5**), F_m factor del material, F_p factor de paletas (**Anexo 6**), F_o factor de sobrecarga (**Anexo 7**).

La potencia total se determina por la ecuación que relaciona la eficiencia y el factor de sobrecarga del transportador junto con las potencias debido al desplazamiento de la masa a mezclar y la requerida para mover el transportador vacío, véase la ecuación (25).

$$HP_f = \frac{(HP_f + HP_m)F_o}{e} \quad (25)$$

donde e es el factor de eficiencia de la transmisión (**Anexo 8**).

4.2.11. Rodamientos

El término cojinete se utiliza para describir dos piezas que tienen movimiento relativo entre ellas sin importar su forma o configuración, en los cojinetes siempre debe existir correcta lubricación con la finalidad de reducir la fricción y calor debido a que estos giran y deslizan. El cojinete simple se conforma por dos materiales en contacto, por lo general la parte en movimiento son de acero con la finalidad de alcanzar la dureza y resistencia requerida para el caso. Las piezas contra las que se mueve un cojinete están hechas de bronce, el babbit o algún material no metálico (Norton, s.f.).

Los cojinetes rodantes de bolas y rodillos de acero endurecido se utilizan para aplicaciones en las que se requiere una fricción muy baja. Un cojinete simple se diseña para una aplicación en especial, mientras que los de elementos rodantes se seleccionan de catálogos de fabricantes para adecuarlos a cargar, velocidad, velocidades de vida deseada que soportan cargas radiales, al empuje o combinadas (Norton, s.f.).

4.2.11.1. Selección de rodamientos

Una de las metodologías más utilizadas para dimensionar los rodamientos es la de FAG (s.f.), esta se basa en las normativas DIN 732 T1, DIN 732 T2, DIN ISO 76 y DIN ISO 281.

Según el manual de selección de rodamientos FAG para iniciar con el dimensionamiento del rodamiento, se selecciona un rodamiento que cumpla con el diámetro del eje al que se le va a montar el rodamiento.

El rodamiento seleccionado debe soportar cargas axiales y radiales, por lo que se realizan una serie de cálculos para comprobarlo. La capacidad de carga se calcula por la **ecuación (26)**.

$$C = \frac{Pf_L}{f_n} \quad (26)$$

donde P es la carga dinámica equivalente, f_L es el factor de esfuerzos dinámicos y f_n el factor de velocidad.

Los factores de velocidad y esfuerzos dinámicos se definen en base a las horas de vida útil definida por el diseñador al rodamiento y la velocidad angular del eje, estos se calculan por la **ecuación (27)** y **(28)**.

$$f_L = \sqrt[p]{\frac{L_h}{500}} \quad (27)$$

$$f_n = \sqrt[p]{\frac{100}{3n}} \quad (28)$$

donde n es la velocidad angular expresada en $\frac{\text{rad}}{\text{s}}$ y L_h son las horas de vida que da el diseñador al rodamiento.

La carga dinámica equivalente en un rodamiento está definida por la **ecuación (29)**.

$$P = XF_r + YF_a \quad (29)$$

donde X es el factor radial, Y el factor axial, F_r es la carga radial y F_a indica la carga axial en el rodamiento. Los valores de X y Y .

Por último, es necesario calcular la duración en horas del rodamiento en funcionamiento, para ello se utiliza la **ecuación (30)**.

$$L_{h10} = \left(\frac{C}{P}\right)^p \frac{10}{n * 60} \quad (30)$$

donde n esta expresada en rpm.

4.2.12. Transferencia de calor por conducción

La conducción del calor es la transferencia de energía de partículas con mayor energía a las de menor energía, este tipo de transferencia de calor se presenta en sólidos, líquidos y gases.

Según Cengel y Ghajar (2011), la velocidad con la que se transfiere el calor a través de un medio depende de la configuración geométrica del mismo, espesor, material del que está construido y diferencia de temperatura a través de él. En la **Figura 18** se puede identificar un ejemplo de la transferencia de calor por conducción en dos materiales diferentes, se puede observar que la tasa de transferencia es mayor cuando se utiliza cobre.

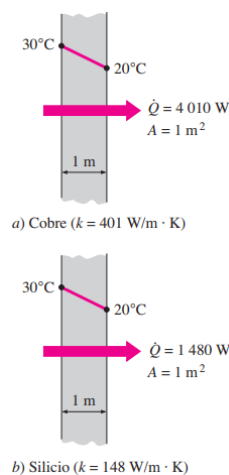


Figura 18. Razón de transferencia de calor a través de un sólido

Fuente: Cengel y Ghajar (2011)

La razón de transferencia de calor se puede calcular con la **ecuación (31)**.

$$\dot{Q}_{\text{cond}} = kA \frac{T_1 - T_2}{L} \quad (31)$$

donde k es la conductividad del material que se utiliza (**Anexo 14**), A es el área transversal al flujo de calor, T_1 es la temperatura de superficie más alta, T_2 es la temperatura de superficie menor y L es el espesor del material usado.

Para análisis de transferencia de calor también se hacen analogías con la electricidad, para ello se implementan resistencia que evitan el flujo del calor. La resistencia térmica se calcula con la **ecuación (32)**.

$$R = \frac{L}{kA} \quad (32)$$

donde R es la resistencia térmica, por lo que el flujo de calor se define por la **ecuación (33)**.

$$\dot{Q} = \frac{T_1 - T_2}{R} \quad (33)$$

4.2.13. Transferencia de calor por convección

La convección es la transferencia de energía entre una superficie sólida y líquido o gas que está en movimiento y se producen los efectos combinados de la conducción y movimiento de fluidos. Cuanto más rápido es el movimiento de un fluido, mayor es la transferencia de energía por convección (Cengel y Ghajar, 2011).

La convección puede ser forzada si el fluido es forzado a fluir sobre una superficie usando medios externos como un ventilador o una bomba, en cambio, es natural si el movimiento del fluido se debe a las fuerzas de empuje que se inducen por la diferencia de temperatura, obsérvese la **Figura 19** para una mejor comprensión (Cengel y Ghajar, 2011).

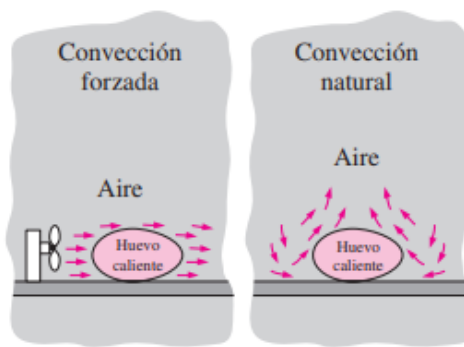


Figura 19. Convección forzada y natural

Fuente: Cengel y Ghajar (2011)

Cuando la transferencia de calor por convección comprende cambio de fase del fluido también se toma en cuenta como convección a causa del movimiento de ese fluido inducido. La convección está determinada por la ley de enfriamiento de Newton, esta se indica en la **ecuación (34)**:

$$Q_{\text{conv}} = hA_s(T_s - T_{\infty}) = mc_p(T_s - T_{\infty}) \quad (34)$$

donde h es el coeficiente de convección, A_s el área que está en contacto, T_s la temperatura de la superficie, T_{∞} la temperatura ambiente, m la masa de líquido o fluido en contacto y c_p el calor específico de la sustancia.

4.2.14. Calor específico

El calor específico es la energía requerida para elevar un grado de temperatura a una unidad de masa de una sustancia. Existen dos tipos de calores específicos: el calor específico a volumen constante c_v y el calor específico a presión constante c_p .

El calor específico a volumen constante se lo define como la energía necesaria para elevar un grado la temperatura de una unidad de masa de una sustancia mientras el volumen permanece constante. La energía necesaria para realizar lo mismo mientras la presión permanece constante se denomina como el calor específico a presión constante.

El calor específico a presión constante es mayor debido a que este permite que el sistema se expanda y además la energía para esta expansión también se transfiere al sistema. En la **Figura 20** se muestra una representación de cómo afecta el calor específico al momento de suministrar o quitar calor a una sustancia.

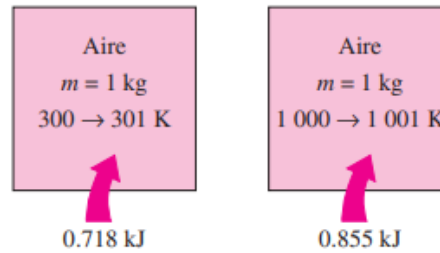


Figura 20. Variación de calor necesario para elevar un grado Kelvin

Fuente: Cengel y Ghajar (2011)

Según Montoya y Oliveros (1990), el calor específico del café está relacionado con la humedad que el mismo presenta, la **ecuación (35)** permite calcular el calor específico del café a una determinada humedad.

$$c_p = 1,674 + 2,51CH_{bh} \quad (35)$$

donde CH_{bh} es el porcentaje de humedad del café en baba, el valor calculado del c_p se encuentra

en $\frac{\text{kJ}}{\text{kgK}}$.

5. Metodología

5.1. Materiales y equipos

5.1.1. Equipos y materiales de oficina

Libros, información impresa, internet, impresora, calculadora, computadora

5.1.2. Equipos para construcción mecánica y eléctrica

Torno, soldadora, guantes, multímetro, termocupla, electrodos, láminas de acero, tijeras para cortar acero, cortadora de plasma, dobladora, roladora, taladro, broca, amoladora

5.1.3. Softwares

SolidWorks, AutoCAD, paquete Office, Excel

5.2. Procedimiento

5.2.1. Desarrollo del primer objetivo: Definir las variables y parámetros de la fermentación aerobia de café.

- *Recopilar información bibliográfica sobre el proceso de la fermentación aeróbica del café.* Este paso permite determinar los factores, condiciones y variables que inciden en la fermentación aeróbica del café, valores como densidad, temperatura ambiente de fermentación y tiempo que se utilizan para el cálculo de cada componente de la máquina fermentadora.

5.2.2. Desarrollo del segundo objetivo: Diseñar un fermentador aerobio para café con capacidad de 22lb.

La metodología para cumplir con el segundo objetivo consiste en:

- *Identificar la estructura, elementos y sistemas de la máquina.* Se realiza una recopilación de información sobre máquinas similares o análogas para determinar las partes que la conforman, además se comprende el funcionamiento y se identifica fallas más comunes que presentan. De esta forma se propone un diseño conceptual de la máquina fermentadora de café.
- *Diseñar las partes y sistemas principales de la máquina.* Se proponen mecanismos que permitan realizar las fermentaciones en las condiciones óptimas que se identifican en la bibliografía. El diseño de las piezas se lleva a cabo siguiendo metodologías de catálogos, inspección de modelos análogos u otros tipos de investigación.
- *Cálculo de las piezas de la máquina.* Para ello se debe realizar una síntesis de temas relacionados con diseño de máquinas, resistencia de materiales, transferencia de calor, etc.

Mediante la información obtenida en cuanto a diseño se puede respaldar el cálculo y selección de todos los elementos de la máquina. Las principales partes de la máquina que se diseñan son:

- Depósito
- Eje
- Mezclador
- Rodamientos
- Motorreductor
- Diseño del sistema de refrigeración
- *Diseño asistido por computadora de los componentes.* Una vez realizados los cálculos de las partes de la máquina, estas son diseñados en software CAD, específicamente en SolidWorks.
- *Proponer procesos de fermentación.* En base a la bibliografía consultada sobre las condiciones óptimas del café, plantear procesos que incluyan temperatura y tiempo de fermentación y así validar el funcionamiento del fermentador.
- *Diseño del sistema de control eléctrico de la máquina.* Una vez diseñados los componentes de la máquina, se debe realizar e indicar la forma en la que serán controlados por el operario, para ello se utilizan componentes existentes en el medio para luego realizar los diagramas eléctricos con el uso de software computarizado.

5.2.3. Desarrollo del tercer objetivo: Construir y evaluar el funcionamiento del fermentador diseñado.

- *Construcción, ensamblaje y validación del funcionamiento de la máquina.* Una vez diseñados y validados todos los cálculos se procede a construir y ensamblar las piezas. Finalmente, se realizan tres pruebas que validan el funcionamiento de la máquina.

En la **Figura 21** se indica de forma gráfica la secuencia que se debe seguir para llevar a cabo la construcción del fermentador.

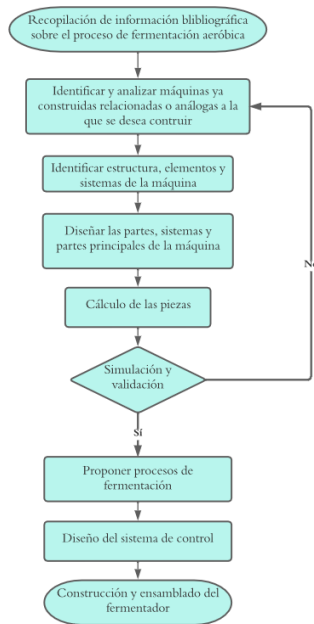


Figura 21. Proceso de construcción del fermentador

Fuente: (Autor)

6. Resultados

6.1. Proceso y análisis de datos el objetivo 1

6.1.1. Descripción del proceso de fermentación aerobia

La fermentación aeróbica es un proceso natural que se puede realizar en seco o con agua y en presencia de oxígeno, además en este tipo de fermentación es más complejo realizar el control de las variables que inciden como es la temperatura ambiente, tiempo de fermentación y aireación.

El proceso de fermentación aerobia generalmente se realiza en pilas o tanques de concreto sin que se expongan directamente a la radiación solar, es decir, se realiza bajo sombra.

Según Puerta (2012), los compuestos que se forman durante la fermentación aerobia del café, depende de factores como los grados brix, calidad del sustrato, madurez y sanidad del fruto ya despulpado, por lo que es de mucha importancia realizar una correcta cosecha de los granos únicamente maduros junto con un despulpado correcto sin llegar a obtener granos mordidos durante el proceso de despulpado.

El tiempo de fermentación del café en el proceso aerobio se debe controlar correctamente, este puede variar entre 14 y 48 horas, con esto se asegura que el mucílago del café se desprenda fácilmente y no se generen sabores y aromas desagradables, mientras que la temperatura ambiente de fermentación va desde 15°C a 25°C, obteniéndose sabores especiales de calidad superior con mayor frecuencia (Puerta y Echeverry, 2015).

6.1.2. Análisis y caracterización del proceso de fermentación aeróbica

Analizar y caracterizar el proceso de fermentación aeróbica consiste en determinar los factores y condiciones que influyen en el proceso, estos factores y condiciones son temperatura, agitación, grado de madurez, tiempo y exposición, en la **Tabla 3** se indican las condiciones para realizar la fermentación aerobia en el café.

Tabla 3.

Condiciones óptimas para la fermentación aeróbica

| Factor | Condición |
|------------------------|--------------------------------------|
| Temperatura | 15°C |
| Agitación | Al inicio y final de la fermentación |
| Grado de maduración | 12-23,83° Bx |
| Tiempo de fermentación | 20 horas |
| Exposición | Bajo sombra |

Fuente: (Puerta, 2012)

6.2. Proceso y análisis del objetivo 2

6.2.1. Identificación de las partes principales de un fermentador

Para desarrollar el cumplimiento del segundo objetivo que compete el diseño del fermentador de café, se realiza la **Tabla 4** en base a la información recopilada de los fermentadores en la que se describe la necesidad y una propuesta para resolver ese problema.

Tabla 4.

Sistemas principales de un fermentador de café

| Requisito | Propuesta |
|---------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Sistema de carga de la masa de café | Compuerta corrediza en la parte superior del depósito fermentador de café. |
| Sistema de descarga de la masa de café | Sistema que permite el giro del depósito de forma manual por medio de una palanca para realizar la descarga. |
| Sistema para drenar el mucílago del café durante la fermentación y contener el café en baba | Drenado del mucílago por medio de una chapa metálica agujereada, en la parte inferior de esta se ubica una lámina con inclinación para que el mucílago salga al exterior por el principio de gravedad. |
| Sistemas de refrigeración controlada durante la fermentación | Refrigeración por convección mediante agua que fluye por las paredes laterales del depósito usando bombas, además se utiliza aislamiento en las paredes externas para evitar la transferencia de calor entre el depósito y el ambiente. |
| Permitir la ventilación de los granos de café durante la fermentación | Parte superior abierta del fermentador de café y chapa metálica agujereada. |
| Homogenizar la masa de café fermentada | Sistema de mezclado con cintas helicoidales y giro automatizado por medio de un motor eléctrico. |
| Medir la temperatura de fermentación | Sensores de temperatura instalados en el fermentador. |
| Controlar la temperatura de fermentación de forma automática | Sistema de control por medio de un controlador de temperatura, sensores y contactores. |

Fuente: (Autor)

El sistema de carga del café es requerido para poder abastecer la máquina. Para crear el sistema de carga únicamente se dejó una apertura en la parte superior del depósito con una compuerta corrediza que se puede extraer al momento de cargar o descargar la masa a fermentar del depósito.

Para poder extraer el café de la máquina una vez culminado el proceso, es necesario instalar un sistema de descarga sencillo, rápido y funcional para el usuario, por lo tanto, se construye un depósito que pueda girar y realizar la descarga del café por la parte superior, este sistema de descarga presenta un picaporte que impide el giro por gravedad durante el funcionamiento del fermentador.

Durante la fermentación es necesario extraer el mucílago que se desprende y fluidiza del grano de café debido a los inconvenientes que puede generar en la calidad de la bebida, el mucílago puede generar aceleración en la fermentación produciendo las sobre fermentaciones. Para poder desechar y extraer el mucílago del depósito se utiliza una lámina de acero en forma semicircular con agujeros de diámetros menores a los de los granos del café en baba, así se logra dejar pasar únicamente el mucílago. Después el mucílago pasa a un área de descarga al exterior.

El sistema de mezclado se encarga de que la masa de café se encuentre lo más homogénea posible desde el inicio hasta el final del proceso de fermentación, garantizando una fermentación correcta. Los componentes que conforman el sistema de mezclado es un conjunto de cintas helicoidales, rodamientos y eje.

El sistema de calefacción y refrigeración está destinado a regular la temperatura del café según las necesidades del usuario, es indispensable en la máquina debido a que la temperatura de fermentación no se puede controlar en la fermentación común o tradicional.

Los mecanismos necesarios para desarrollar la fermentación aerobia son:

- Sistema de carga
- Sistema de descarga
- Sistema de mezclado
 - Depósito de café
 - Mezclador de cintas
- Sistema de extracción de mucílago
- Sistema de control de temperatura
 - Sistema de circulación de agua
 - Sistema de enfriamiento y calentamiento

6.2.2. Descripción general de la propuesta

Después de haber definido todos los sistemas que necesita la máquina para realizar correctamente el proceso de fermentación, se plantea un modelo conceptual con el fin de tener una idea más clara de la máquina a diseñar y posteriormente construir. En la **Figura 22** se muestra la disposición del fermentador, se pueden identificar el motor, el depósito, el bastidor y el área para ubicar los dispositivos de refrigeración. El fermentador de café es de tipo desmontable, es decir, las partes del depósito, motor, depósito y bastidor se pueden desacoplar, esto permite que el fermentador presente flexibilidad y adaptabilidad para los usuarios.

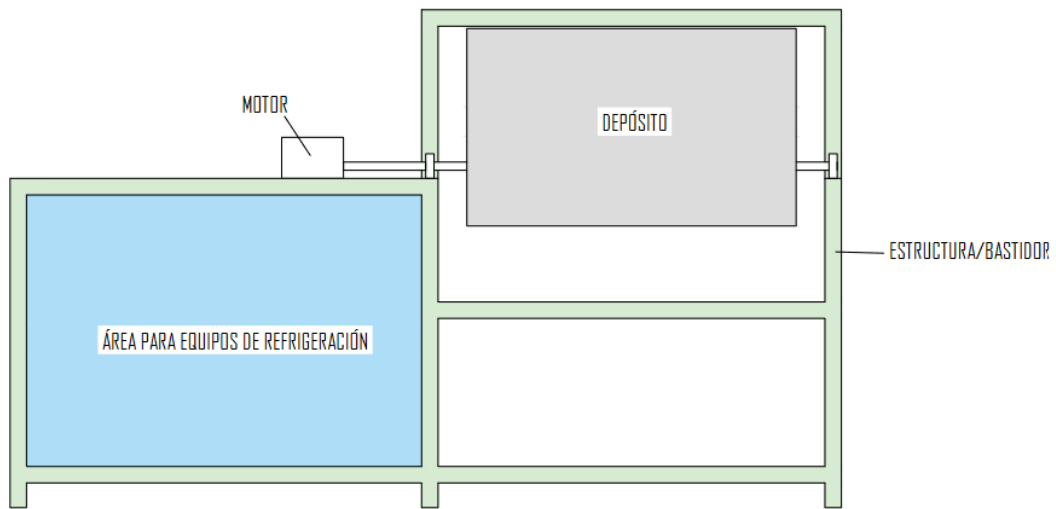


Figura 22. Propuesta de fermentador

Fuente: (Autor)

El depósito del fermentador presenta una forma semi circular como se indica en la **Figura 23**, se utiliza esta forma por la alta maniobrabilidad y eficiencia en el momento del mezclado y homogeneización de la masa de café.

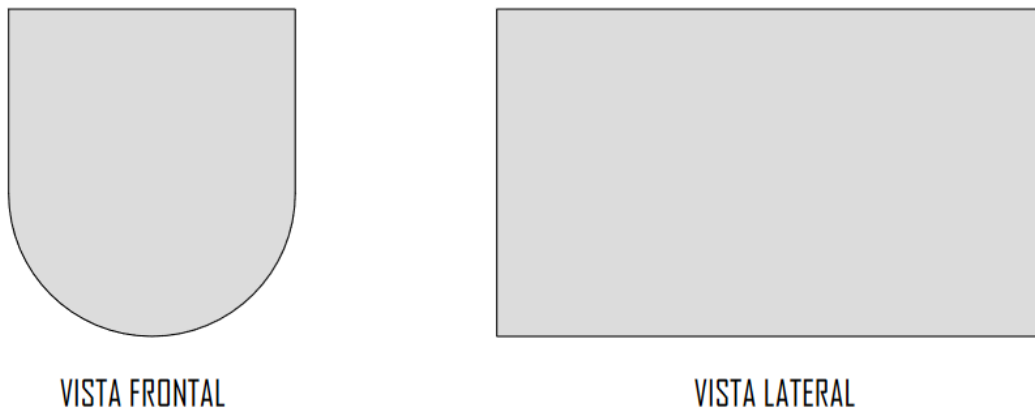


Figura 23. Forma del depósito del fermentador

Fuente: (Autor)

Para la descarga del café ya fermentado se propone un sistema de giro y un seguro de picaporte que permita desacoplar de forma rápida el depósito permitiéndole girar, una vez descargado todo el café se vuelve a acoplar el sistema a su posición original. En la **Figura 24** se indica la descarga del café.

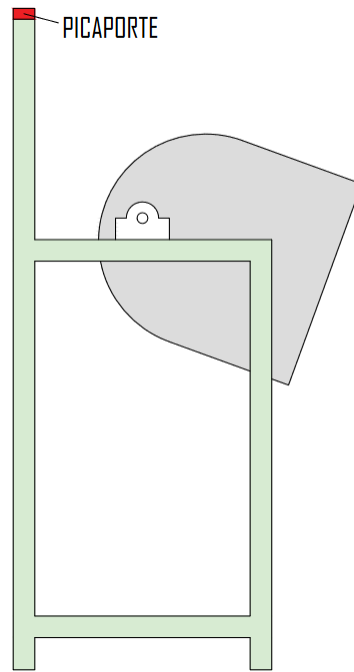


Figura 24. Descarga del café en baba

Fuente: (Autor)

El sistema de almacenamiento del café y extracción del mucilago se lleva a cabo en la parte interna del depósito, este está conformado por varias planchas de acero, una interna, otra intermedia y una externa, formando tres divisiones, en la primera se almacena el café y extrae el mucilago, en la segunda circula el fluido encargado de disminuir o aumentar la temperatura, mientras que en la última división se ubica el aislante térmico. Véase la **Figura 25** en donde se indica de forma visual las divisiones del depósito.

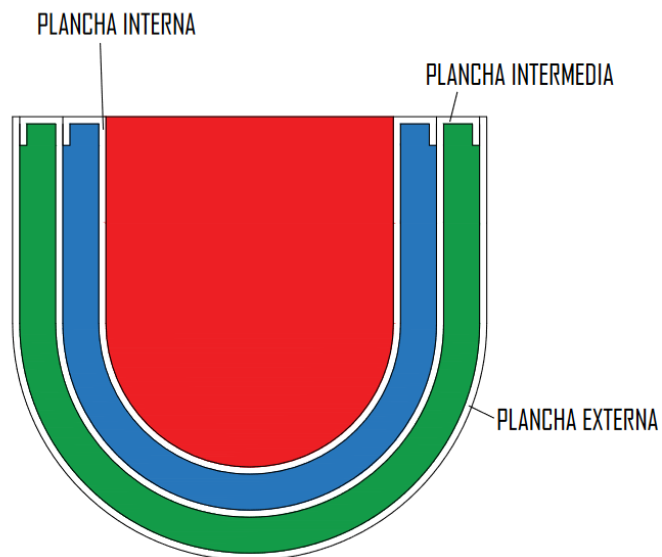


Figura 25. Divisiones del depósito

Fuente: (Autor)

La plancha interna que retiene la masa de café presenta una serie de agujeros en la parte inferior que permiten filtrar y extraer el mucílago por medio de un ducto, obsérvese la **Figura 26**.

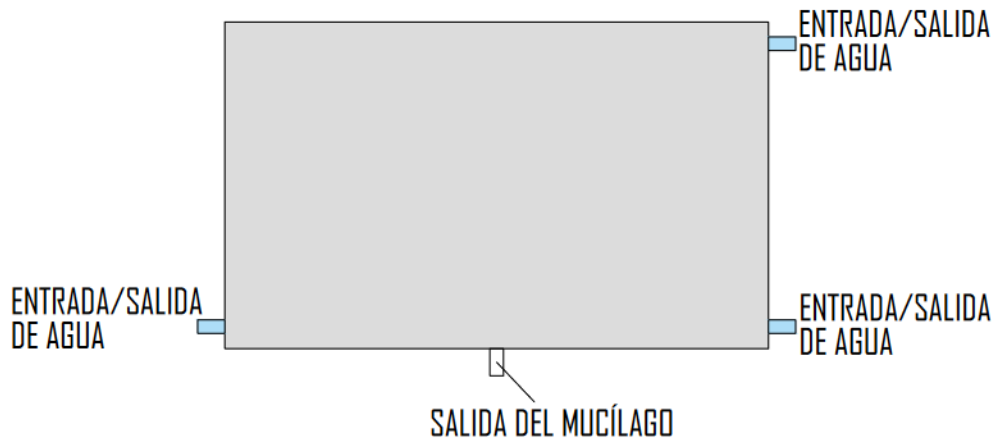


Figura 26. Disposición de entrada y salida de agua y ducto de extracción de mucilago

Fuente: (Autor)

Para el sistema de mezclado se opta por ubicar cintas helicoidales que son prácticas para sustancias con densidades altas, además de conseguir mezclas con altos grados de homogeneización en poco tiempo y poco daño mecánico en el grano de café. En la **Figura 27** se muestra el mezclador de cintas helicoidales a usar en el fermentador para el sistema de mezclado, este se ubica dentro del depósito donde se almacena y fermenta el café.

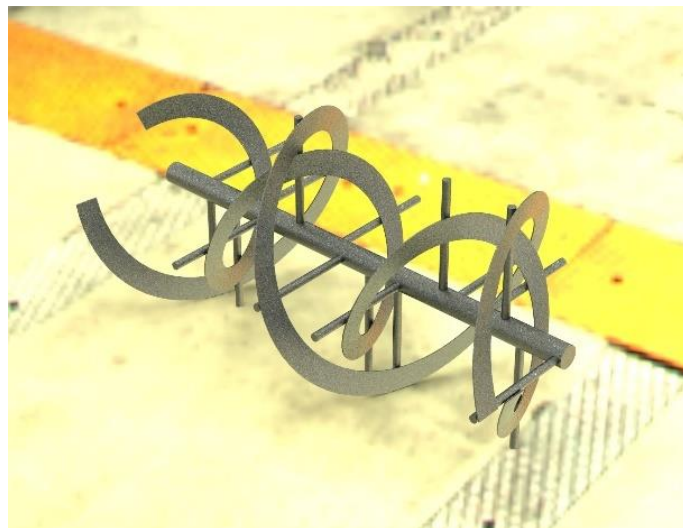


Figura 27. Cintas helicoidales

Fuente: (Autor)

Para poder generar el torque necesario durante el mezclado del café se plantea usar un motor eléctrico, esto debido a que tienen mayores gamas de potencias seleccionables, además presentan precios similares y son más eficientes que los motores de combustión.

El sistema de control de temperatura está conformado por una parte eléctrica y otra hidráulica. El sistema hidráulico es indispensable para que recircule el agua y tener menores impactos ambientales, para su implementación se necesitan bombas hidráulicas, depósitos externos, uno para calentar el agua y otro para enfriarla, válvulas de purga para evacuar el agua del fermentador, válvulas check para evitar que el agua regrese por gravedad a las bombas y electroválvulas para dirigir el flujo de agua.

La parte eléctrica del sistema de control está conformada por:

- ✓ Sensor de temperatura
- ✓ Microcontrolador
- ✓ Actuador de control de temperatura
- ✓ Fuente de alimentación
- ✓ Conexiones eléctricas
- ✓ Programación del microcontrolador

El sensor de temperatura es el encargado de medir la temperatura del entorno y transformarla en una señal de retroalimentación, el microcontrolador procesa la señal del sensor de temperatura y ejecuta acciones de control, el actuador es un dispositivo que permite controlar los sistemas de calefacción y refrigeración, este puede ser un relé, la fuente de alimentación es indispensable para que los dispositivos funcionen, esta debe ser adecuada tanto para el controlador como para los actuadores. Por último, se debe conectar todos los equipos correctamente y programar el controlador con una lógica necesaria para que pueda tomar decisiones en base a la temperatura que detecte el sensor.

6.2.3. *Determinación del factor de seguridad para el diseño de componentes*

Se imponen las condiciones en A, B, C, D y E. En la **Tabla 5** se indican las condiciones para el fermentador.

Tabla 5.

Características del fermentador.

| Característica | Condición |
|-----------------------|----------------------------------------------------------------------------------------|
| A | Muy buena, se requiere aceros de alta calidad para industria conservación de alimentos |
| B | Muy buena, el motor solo se utiliza en determinados momentos que se requieren |
| C | Buenas, debido a que se realizan cálculos de esfuerzos |

| | |
|---|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|
| D | No serio, el personal no sufre daños si falla la máquina por la baja velocidad que se tiene de giro |
| E | No serio, no se causan daños |

Fuente: (Autor)

Buscando los coeficientes n_{sx} y n_{sy} del **Anexo 15** y **Anexo 16**, se tiene 1.2 y 1 respectivamente, entonces reemplazando los valores en la **ecuación (2)** se tiene:

$$n_s = n_{sx}n_{sy}$$

$$n_s = 1,2 * 1 = 1,2$$

Este factor de seguridad se aplica para diseñar todos los componentes del fermentador.

6.2.4. Dimensionamiento del depósito del fermentador aerobio

En la **Tabla 6** se indican los parámetros necesarios para realizar el diseño del depósito.

Tabla 6.

Propiedades del café en baba

| Parámetro | Valor |
|-----------|--------------------------------------|
| Masa | 22 lb |
| Densidad | $803,4 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ |

Fuente: (Montilla et al, 2008)

Para iniciar con el diseño del depósito, primeramente, se calcula el volumen que ocupan 22lb de café con la **ecuación (36)**

$$V = \frac{m}{\rho} \quad (36)$$

Donde V es el volumen en m^3 y ρ es la densidad.

$$V = \frac{10 \text{ kg}}{803,4 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}} = 0,01244\text{m}^3$$

El depósito tiene forma semicircular, por lo que se utiliza la **ecuación (37)** para calcular la longitud L del mismo, la ecuación se obtiene al despejar la longitud de la fórmula para calcular el volumen de un cilindro.

$$L = \frac{4V}{\pi d^2} \quad (37)$$

donde d es el diámetro del cilindro, en este caso se escoge un diámetro de 0,2m. Reemplazando.

$$L = \frac{4(0,01244 \text{ m}^3)}{\pi(0,2 \text{ m})^2} = 0,3962\text{m}$$

Se utiliza una longitud de 0,4 m.

Después de obtener la longitud, se sobredimensiona la capacidad de almacenamiento del depósito para evitar que se sature. Para sobredimensionar el depósito se usa la **ecuación (38)**.

$$V_{\text{total}} = \frac{V * 100 \%}{\%_{\text{llenado}}} \quad (38)$$

donde $\%_{\text{llenado}}$ es la cantidad de llenado que se desea en el depósito, se utiliza una capacidad de llenado del 70 %.

$$V_{\text{total}} = \frac{0,01244 \text{ m}^3 * 100 \%}{70 \%} = 0,01778 \text{ m}^3$$

Para dimensionar las medidas del depósito se divide este en tres secciones, una que pertenece a la semicircunferencia, otra a la cantidad de café que se ubica en la parte superior de la semicircunferencia y por último la zona libre de café en baba, en la **Figura 28** se indica de forma gráfica la distribución del café en el depósito, el color rojo y naranja hacen referencia al área ocupada por el café, mientras que la zona de blanco al área libre.

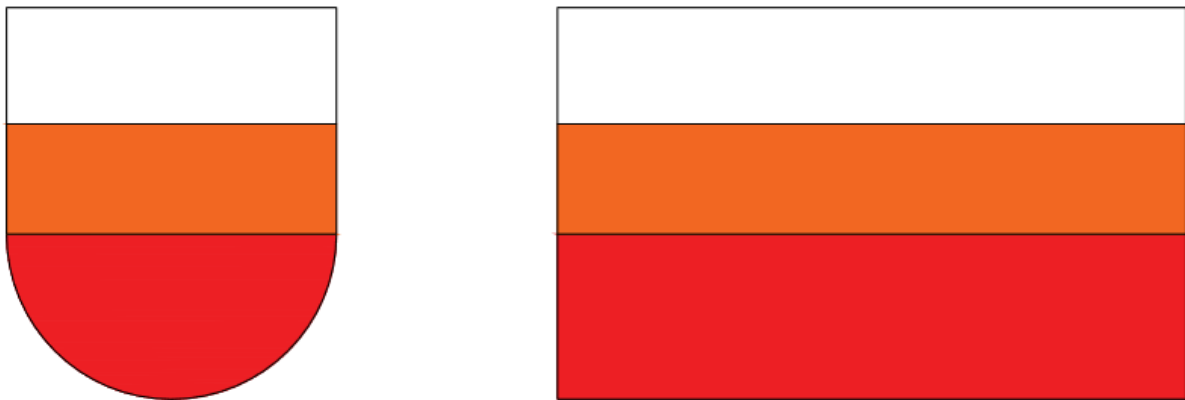


Figura 28. Distribución de café en baba, vista frontal y lateral.

Fuente: (Autor)

Se calcula el volumen de la zona rectangular del depósito (naranja + blanco) con la **ecuación (39)**.

$$V_R = V_{\text{total}} - V_{C1} \quad (39)$$

donde V_{C1} hace referencia al volumen de la zona en color rojo.

$$V_{C1} = \frac{\pi(0,2\text{m})^2(0,4\text{m})}{8} = 0,0062\text{m}^3$$

$$V_R = 0,01778\text{m}^3 - 0,0062\text{m}^3 = 0,01149\text{m}^3$$

Se utiliza la ecuación del volumen en un rectángulo para calcular la altura que debe tener el depósito por encima de la zona roja, se utiliza la **ecuación (40)**.

$$h = \frac{V_R}{LW_R} \quad (40)$$

donde L es la longitud del rectángulo y W_R el ancho.

$$h = \frac{0,01149\text{m}^3}{0,4\text{m} * 0,2\text{m}} = 0,1437 = 0,14\text{m}$$

Es necesario calcular la altura de la zona en blanco del depósito, se conoce el volumen ocupado por la masa de café, por lo que se utiliza la **ecuación (41)** para calcular el volumen de la zona de color naranja.

$$V_{C2} = V_R - V_{C1} \quad (41)$$

$$V_{C2} = 0,01149\text{m}^3 - 0,0062\text{m}^3 = 0,0052\text{m}^3$$

Luego se calcula la altura de la zona naranja utilizando la **ecuación (40)**.

$$h_{C3} = \frac{0,0052\text{m}^3}{0,4\text{m} * 0,2\text{m}} = 0,065 = 0,07\text{m}$$

En la **Figura 29** se muestra el esquema del depósito con las medidas calculadas.

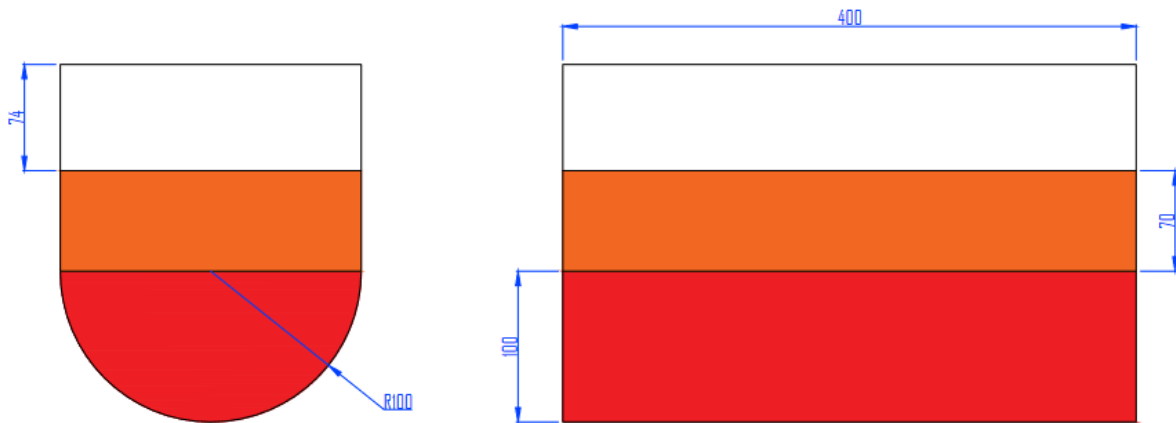


Figura 29. Vista frontal y lateral del recipiente con dimensiones

Fuente: (Autor)

6.2.5. Dimensionamiento de las cintas helicoidales

En cuanto al diseño del mezclador, se utiliza la metodología planteada por Vallejo (2017). Para realizar la homogeneización de la masa de café en el depósito se selecciona un mezclador de doble cinta helicoidal, debido a la eficiencia y velocidades relativamente bajas a las que funcionan, además generan poco daño mecánico.

En la **Figura 30** se indica la disposición del mezclador en el depósito.

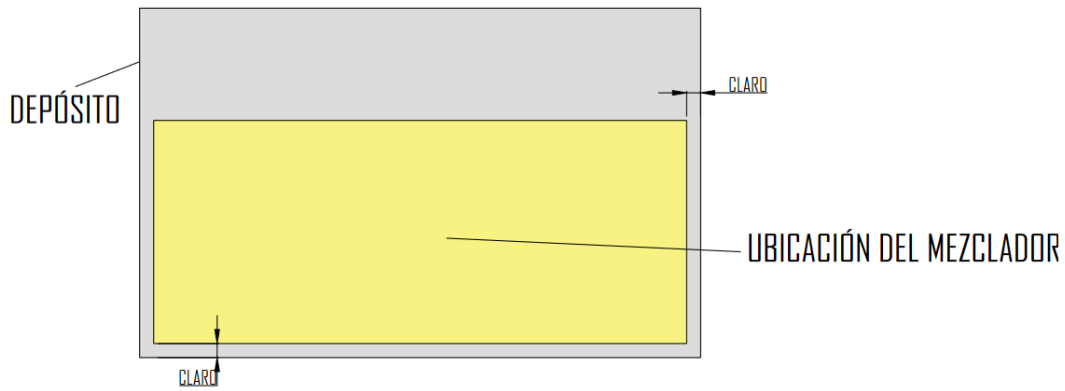


Figura 30. Zona de ubicación de cintas helicoidales.

Fuente: (Autor)

El conjunto de cintas helicoidales que se usan para mezclar el café en baba debe ajustarse a las dimensiones del depósito. Para el diámetro debe existir un claro entre la zaranda del depósito y las cintas y así evitar rozamiento y desgaste por abrasión, por lo que se deja un centésimo del diámetro del recipiente como claro, este queda definido por la **ecuación (42)**:

$$\text{claro} = \frac{d}{100} \quad (42)$$

$$\text{claro} = \frac{0,2 \text{ m}}{100} = 0,002 \text{ m} = 2 \text{ mm}$$

Por lo que el diámetro de la cinta helicoidal exterior queda definido por:

$$D_{\text{CEM}} = d - 2\text{claro} \quad (43)$$

$$d_{\text{CEM}} = 0,2 \text{ m} - 2 * 0,002 \text{ m} = 0,196 \text{ m}$$

El paso de una hélice helicoidal estándar es igual al diámetro, por lo que se puede usar la **ecuación (44)** para determinar el número de espiras.

$$n = \frac{L_{\text{Cintas}}}{d_{\text{CM}}} \quad (44)$$

Donde d_{CM} es el diámetro de la cinta helicoidal. Reemplazando:

$$n_{\text{CEM}} = \frac{0,396 \text{ m}}{0,196 \text{ m}} = 2,02$$

Para calcular el diámetro de la hélice interna se realiza un balance de masa, es decir, la masa debe mantener un flujo constante y así lograr una mezcla homogénea sin que el café se acumule a los lados del depósito, para ello tanto la cinta exterior como interior deben transportar la misma cantidad de masa, pero en sentidos opuestos. En la **Figura 31** se indica gráficamente la dirección y masa que debe desplazar cada cinta del mezclador.

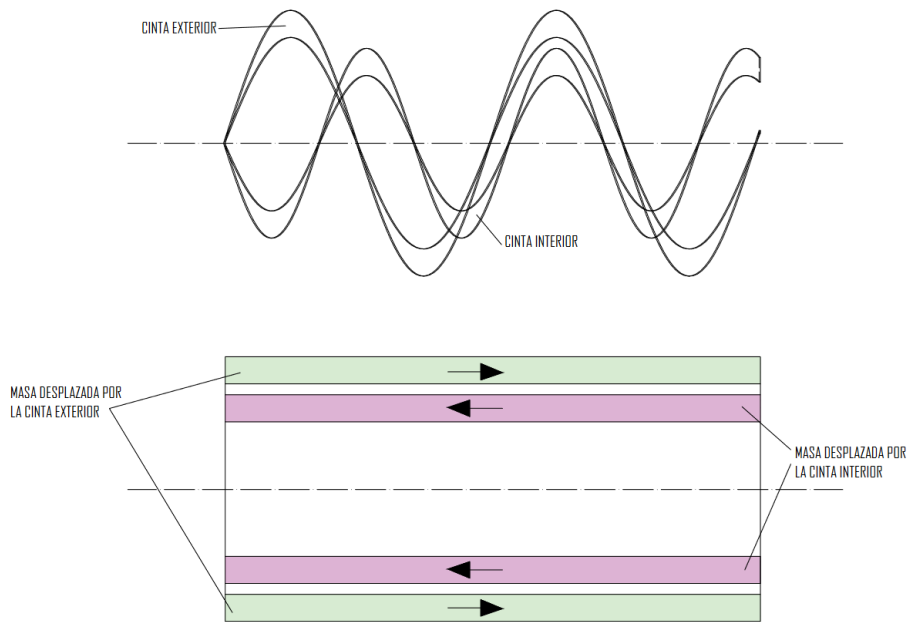


Figura 31. Dirección y masa desplazada por cada cinta del mezclador

Fuente: (Autor)

Al realizar el balance de masa se obtiene la **ecuación (45)** para calcular el diámetro de la cinta helicoidal.

$$d_{CIM} = \frac{d_{CEM}}{\sqrt{2}} \quad (45)$$

$$d_{CIM} = \frac{0,196m}{\sqrt{2}} = 0,138m = 0,14m$$

Se calcula el número de espiras necesarias con la **ecuación (44)**.

$$n_{CIM} = \frac{0,396 m}{0,14 m} = 2,8285$$

En la **Figura 32** se muestra las medidas finales de las cintas helicoidales.

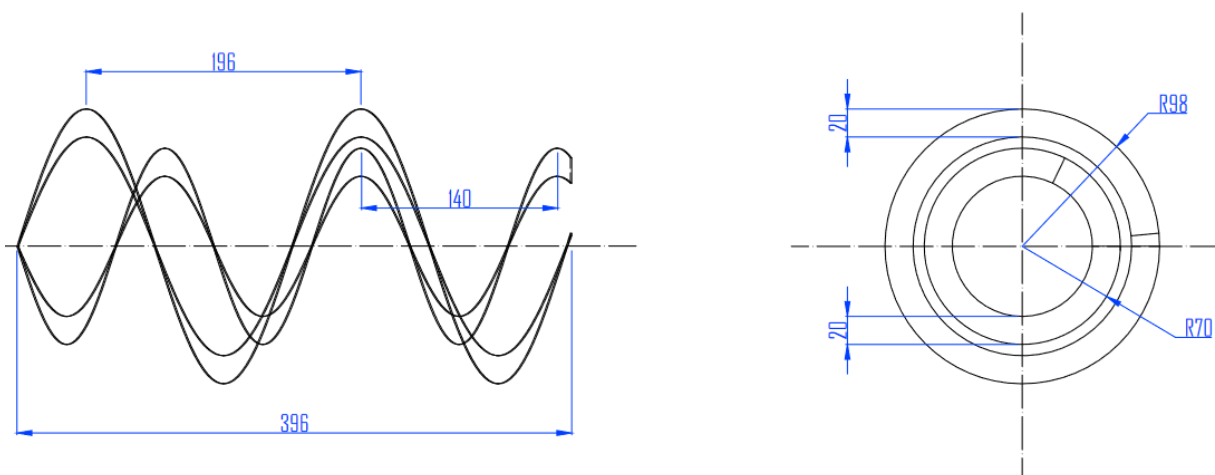


Figura 32. Medidas de las cintas helicoidales del mezclador.

Fuente: (Autor)

6.2.6. Cálculo de potencia y selección del motor

La potencia necesaria para mover el conjunto de cintas helicoidales se calcula siguiendo la metodología del manual de Sprocket (2013). Antes de calcular la potencia es necesario conocer algunos factores.

Para calcular el flujo de volumen que debe desplazar el mezclador se establece un tiempo de mezclado de 15 segundos que se consideran suficientes para la cantidad de masa que se tiene en el depósito. El flujo volumétrico se describe por la **ecuación (46)**.

$$\dot{V} = \frac{V_{\text{cinta}}}{\text{tiempo}} \quad (46)$$

Donde V_{cinta} es el volumen total que desplaza cada cinta, Entonces reemplazando para cada cinta:

$$V_{\text{CIM}} = \frac{\pi(0,14 \text{ m})^2(0,4\text{m})}{4} = 0,0061 \text{ m}^3$$

$$V_{\text{CEM}} = \frac{\pi((0,196\text{m})^2 - (0,14\text{m})^2)(0,4\text{m})}{4} = 0,0059 \text{ m}^3$$

Ahora utilizando la **ecuación (46)** se tiene:

$$\dot{V}_{\text{CIM}} = \frac{0,0061 \text{ m}^3}{15 \text{ s}} = 4,1 * 10^{-4} \frac{\text{m}^3}{\text{s}} = 52,12 \frac{\text{ft}^3}{\text{h}}$$

$$\dot{V}_{\text{CEM}} = \frac{0,0059 \text{ m}^3}{15 \text{ s}} = 3,941 * 10^{-4} \frac{\text{m}^3}{\text{s}} = 50,1 \frac{\text{ft}^3}{\text{h}}$$

De acuerdo a la metodología del catálogo de Sprocket (2013), en el primer paso se establecen los factores conocidos para dimensionar el mezclador, estos se ubican en la **Tabla 7**.

Tabla 7.

Factores de diseño para las cintas del mezclador.

| Factor | Valor |
|--------------------------------------------------------|--------------------------------------|
| Longitud del mezclador L | 0,396m = 1,2992 ft |
| W | 10,2 $\frac{\text{lb}}{\text{ft}^3}$ |
| Diámetro de la cinta interna d_{CIM} | 0,14m = 5,5118 in |
| Diámetro de la cinta externa d_{CEM} | 0,196m = 7,7165 in |
| Volumen que desplaza la cinta interna V_{CIM} | 52,12 $\frac{\text{ft}^3}{\text{h}}$ |
| Volumen que desplaza la cinta externa V_{CEM} | 50,1 $\frac{\text{ft}^3}{\text{h}}$ |

El segundo paso corresponde a la clasificación del material, en este caso el café si se encuentra entre los materiales del catálogo de Sprocket (2013), los parámetros relacionados con el material se ubican en la **Tabla 8**.

Tabla 8.*Clasificación del material a mezclar*

| Parámetro | Descripción |
|----------------------------------|----------------------------------------------------------------------------|
| Material | Café húmedo |
| Densidad (ρ) | $803,4 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} = 50,15 \frac{\text{lb}}{\text{ft}^3}$ |
| Código del material | A40-45X- |
| Serie de componentes de material | 1 |
| Tipo de buje | L – S |
| Carga Artesa | 30A |

Fuente: (Sprocket, 2013)

El código A40-45X indica que el tamaño del grano es muy fino con malla No. 40(,016”) y menor, presenta una fluidez lenta (4) y Abrasividad media (5) junto con propiedades misceláneas de compresión bajo presión (X).

Siguiendo la metodología, en el tercer paso se debe determinar la capacidad de diseño, se conoce que según el material la capacidad de carga artesa es 30A, entonces se busca en el **Anexo 9** para determinar la capacidad de diseño, en el anexo no se encuentran los diámetros que corresponden con el diseño actual, por lo que se realiza una interpolación lineal para determinar los valores de revoluciones en cada cinta. Los resultados se ubican en la **Tabla 9**.

Tabla 9.*Capacidad de cintas según RPM*

| Diámetro helicoidal (Pulgadas) | Capacidad Pies cúbicos por Hora (Paso completo) | | Max. RPM |
|-------------------------------------------|--------------------------------------------------------|-------------------|---------------------|
| | A 1 RPM | A Max. RPM | |
| 4 | 0,41 | 53 | 130 |
| 5,5118 | 1,2263 | 148,9993 | 122,441 |
| 6 | 1,49 | 180 | 120 |
| 7,7165 | 3,7557 | 388,84 | 108,5566 |
| 9 | 5,45 | 545 | 100 |

Se conoce el flujo volumétrico y la cantidad de volumen que desplaza cada cinta helicoidal en un rpm, entonces se puede determinar los rpm que da cada cinta con la **ecuación (47)**.

$$N_{CM} = \frac{V_{CM}}{V_{1RPM}} \quad (47)$$

Reemplazando los valores para cada cinta se tiene:

$$N_{CIM} = \frac{52,1244 \frac{\text{ft}^3}{\text{h}}}{1,2263 \frac{\text{ft}^3}{\text{h}}} = 42,5054 \text{ rpm}$$

$$N_{\text{CEM}} = \frac{50,103 \frac{\text{ft}^3}{\text{s}}}{3,7557 \frac{\text{ft}^3}{\text{h}}} = 13,3405 \text{ rpm}$$

Continuando con la metodología, se revisa el diámetro del helicoidal por limitaciones en el tamaño de partículas, en el caso actual si cumple el diámetro del helicoidal, debido a que se tiene un diámetro de partícula de 9,05mm que equivalen a 0,35 in.

En el sexto paso se determina el tipo de buje recomendado, en la **Tabla 8** se identificó que se requiere de un buje tipo L-S para café húmedo. Revisando el **Anexo 4** se obtiene un valor de factor de buje F_b de 2 para ambas cintas.

Por último, se determina la potencia necesaria para mover el transportador vacío y con masa en cada cinta, para ello se utiliza la **ecuación (23)** y **(24)**. En la **Tabla 10** se ubican los factores necesarios extraídos del respectivo anexo para determinar las potencias en cada cinta.

Tabla 10.

Factores de cálculo para determinar las potencias

| Factor | Cinta Interna | Cinta externa |
|------------------------------------------|---------------|---------------|
| Factor de diámetro (F_d) | 16,5354 | 25,4381 |
| Factor de buje (F_b) | 2 | 2 |
| Factor de material (F_m) | 0,6 | 0,6 |
| Factor del porcentaje de carga (F_f) | 1,2 | 1,2 |
| Factor de paleta (F_p) | 1 | 1 |

Fuente: (Sprocket, 2013)

Reemplazando para calcular la potencia necesaria en vacío con la **ecuación (23)**:

$$HP_{\text{fCIM}} = \frac{1,2992 \text{ ft} * 42,5054 \text{ rpm} * 16,5354 * 2}{1000000} = 0,001826 \text{ HP}$$

$$HP_{\text{fCEM}} = \frac{1,2992 \text{ ft} * 13,3405 \text{ rpm} * 25,4381 * 2}{1000000} = 0,0008817 \text{ HP}$$

Reemplazando en la **ecuación (24)** para calcular la potencia necesaria para desplazar el material:

$$HP_{\text{mCIM}} = \frac{7,82 \frac{\text{ft}^3}{\text{h}} * 1,2992 \text{ ft} * 10,2 \frac{\text{lb}}{\text{ft}^3} * 50,15 \frac{\text{lb}}{\text{ft}^3} * 1,2 * 0,6 * 1}{1000000} = 0,0037 \text{ HP}$$

$$HP_{\text{mCEM}} = \frac{7,516 \frac{\text{ft}^3}{\text{s}} * 1,2992 \text{ ft} * 10,2 \frac{\text{lb}}{\text{ft}^3} * 50,15 \frac{\text{lb}}{\text{ft}^3} * 1,2 * 0,6 * 1}{1000000} = 0,0035 \text{ HP}$$

Ahora se suman las potencias requeridas en vacío para desplazar la masa:

$$HP_f = 0,001826 \text{ HP} + 0,0008817 \text{ HP} = 0,002707 \text{ HP}$$

$$HP_m = 0,0037 \text{ HP} + 0,0035 \text{ HP} = 0,0072 \text{ HP}$$

Para poder calcular la potencia total necesaria se debe determinar el factor de sobrecarga F_o (**Anexo 7**) en base a la suma de la potencia necesaria en vacío, la masa y la eficiencia según

el tipo de transmisión a instalarse (**Anexo 8**), en el presente caso se tiene una transmisión de motorreductor con cople. Los valores extraídos se presentan en la **Tabla 11**.

Tabla 11.

Factor de sobrecarga y eficiencia

| Factor | Valor |
|--------------------------------|--------------|
| Factor de sobrecarga (F_o) | 3 |
| Eficiencia (e) | 0,95 |

Fuente: (Sprocket, 2013)

Reemplazando los valores en la **ecuación (25)** para calcular la potencia total:

$$HP_{Total} = \frac{(0,002707HP + 0,0072 HP) * 3}{0,95} = 0,031 HP = 23,46 W$$

Por último, se calcula el torque necesario para mover el sistema, se conoce la velocidad de giro y la potencia, reemplazando en la **ecuación (21)** se tiene:

$$T = \frac{23,46 W}{1,36 \frac{rad}{s}} = 17,25 Nm$$

Con la potencia y el torque necesario para mover las cintas helicoidales se selecciona el motor, en el presente caso se selecciona un motor eléctrico construido por Mendieta y Cuenca (2021), las características se indican en la **Tabla 12**.

Tabla 12.

Motorreductor seleccionado

| Características del motorreductor | |
|------------------------------------------|--------------|
| Potencia | 37,3 W |
| RPM del motor | 1550 rev/min |
| Voltaje | 110 V |
| Torque del motor | 0,23 Nm |
| Relación de transmisión | 118,32 |
| RPM a la salida | 13,1 rev/min |
| Torque a la salida | 27,21 Nm |

Fuente: (Mendieta y Cuenca, 2021)

6.2.7. Fuerzas axiales en las cintas helicoidales

Las fuerzas axiales debido al desplazamiento de la masa de café con las cintas helicoidales obligan al mecanismo a desplazarse de forma axial al eje, por lo que es necesario determinar la magnitud de las mismas. En la **Figura 33** se muestra un diagrama de las cintas y las fuerzas que actúan en ellas.

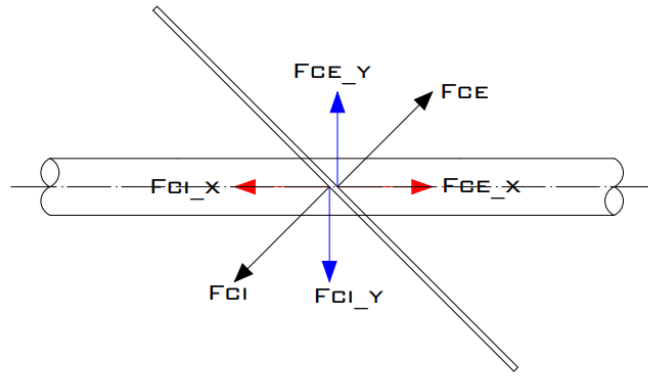


Figura 33. Fuerzas presentes en las cintas helicoidales del mezclador.

La fuerza centrípeta relaciona la masa que desplaza la cinta y la aceleración centrípeta.

Se determina la velocidad angular en cada cinta:

$$\omega = 13,1\text{rpm} * \frac{\pi}{30} = 1,3718 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$$

Entonces se calcula la aceleración centrípeta con la **ecuación (7)**. Reemplazando:

$$a_{\text{CEM}} = \left(1,3718 \frac{\text{rad}}{\text{s}}\right)^2 * 0,098\text{m} = 0,1844 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$a_{\text{CIM}} = \left(1,3718 \frac{\text{rad}}{\text{s}}\right)^2 * 0,07\text{m} = 0,1317 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

Se calcula el volumen desplazado por cada cinta para después determinar la masa.

$$V_{\text{CEM}} = \frac{\pi * ((0,196\text{m})^2 - (0,14\text{m})^2) * 0,4\text{m}}{4} = 0,005911 \text{ m}^3$$

$$V_{\text{CIM}} = \frac{\pi * (0,14\text{m})^2 * 0,4\text{m}}{4} = 0,006157 \text{ m}^3$$

Se calcula la masa que desplaza cada cinta, despejando de la **ecuación (36)** y reemplazando:

$$m_{\text{CEM}} = 842,9 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 0,005911 \text{ m}^3 = 4,9823 \text{ kg}$$

$$m_{\text{CIM}} = 842,9 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 0,006157 \text{ m}^3 = 5,1897 \text{ kg}$$

Reemplazando en la **ecuación (6)** para calcular la fuerza generada en cada cinta:

$$F_{\text{CEM}} = 4,9823 \text{ kg} * 0,1844 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 0,9187 \text{ N}$$

$$F_{\text{CIM}} = 5,1897 \text{ kg} * 0,1317 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 0,6834 \text{ N}$$

Ahora se calculan las componentes en X y Y de cada fuerza, el ángulo de inclinación es de 45°.

$$F_{\text{CEM}_Y} = \text{sen}(45^\circ) * 0,9187 \text{ N} = 0,6496 \text{ N}$$

$$F_{\text{CEM}_X} = \text{cos}(45^\circ) * 0,9187 \text{ N} = 0,6491 \text{ N}$$

$$F_{CIMy} = \text{sen}(45^\circ) * 0,6834 \text{ N} = 0,4832 \text{ N}$$

$$F_{CIMx} = \text{cos}(45^\circ) * 0,6834 \text{ N} = 0,4832 \text{ N}$$

Realizando una sumatoria de fuerzas tanto en X como en Y se obtienen las fuerzas resultantes:

$$F_{Cx} = 0,6491 \text{ N} - 0,4832 \text{ N} = 0,1659 \text{ N}$$

$$F_{Cy} = 0,6491 \text{ N} - 0,4832 \text{ N} = 0,1659 \text{ N}$$

Las fuerzas resultantes son relativamente bajas por lo que no se las considera importantes en el análisis.

6.2.8. Cálculo del espesor de la plancha para el recipiente

Este cálculo está relacionado únicamente con el espesor de pared que debe utilizarse para la construcción del depósito, específicamente para la plancha interna que contiene la masa de café. Las dimensiones ya fueron calculadas anteriormente en la **sección 6.2.4**.

Para calcular el espesor de pared necesario se aplica el método de cálculo para un cilindro de pared delgada. En la **Figura 34** se indica el elemento sobre el que se realiza el análisis.

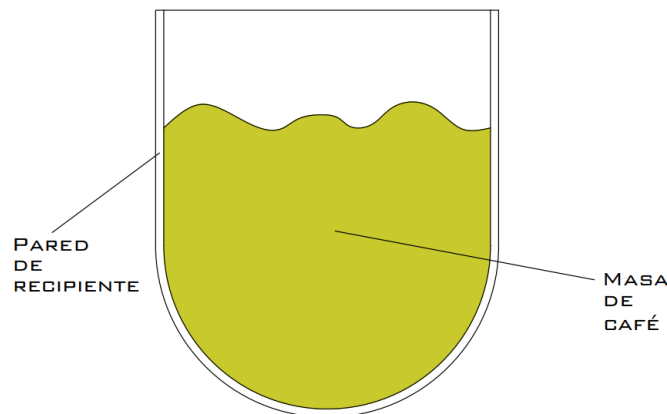


Figura 34. Plancha interna del depósito.

Para la construcción del depósito se utiliza acero inoxidable ANSI 430 por sus características y propiedades para almacenar productos alimenticios para consumo humano, además de sus buenas características de resistencia a la flexión.

Para poder utilizar la **ecuación (4)** y calcular el espesor de pared del depósito se debe conocer la presión sobre la superficie que lo contiene y esta se encuentra determinada por:

$$p = p_{masa} + p_{CEM} + p_{CIM}$$

Donde p_{masa} es la presión debida al peso de la masa de café, p_{CEM} la presión ejercida por la fuerza centrípeta de la cinta externa del mezclador y p_{CIM} la presión ejercida por la fuerza centrípeta de la cinta interna del mezclador.

Se conoce que la presión es el cociente entre la fuerza ejercida sobre una determinada área, véase la **ecuación (48)**.

$$p = \frac{F}{A} \quad (48)$$

El área de contacto de las fuerzas en todos los casos es:

$$A = \left(\frac{\pi d}{2} + 2h \right) L_d$$

Entonces calculando el área:

$$A = 0,1816 \text{ m}^2$$

Se calcula la presión ejercida por el peso de la masa de café:

$$P_{\text{masa}} = \frac{98,1 \text{ N}}{0,1816 \text{ m}^2} = 540,1982 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$$

La presión de las fuerzas centrípetas de cada cinta se calcula por la **ecuación (49)**:

$$P_{\text{CM}} = \frac{F_C}{A} \quad (49)$$

Entonces:

$$P_{\text{CEM}} = \frac{0,9187 \text{ N}}{0,1816 \text{ m}^2} = 5,0589 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$$

$$P_{\text{CIM}} = \frac{0,6834 \text{ N}}{0,1816 \text{ m}^2} = 3,7632 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$$

Calculando la presión total se tiene:

$$p = 540,1982 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} + 5,0589 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} + 3,7632 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} = 549,0203 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$$

Despejando el espesor de pared de la **ecuación (5)** y reemplazando lo valores con un factor de seguridad de 1,2 y una resistencia a la flexión del material de 18 MPa según DIPAC, se determina:

$$t = \frac{1,2 * 549,0203 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} * 0,2\text{m}}{22\text{MPa}} = 5,9893 * 10^{-6}\text{m}$$

El espesor de pared del cilindro resulta un valor muy pequeño, no existen planchas de acero inoxidable con el espesor calculado, se escoge una plancha de 1 mm, ya que soldar acero con espesores más pequeños resulta complicado, la construcción de todas las paredes del depósito se realiza con planchas de 1 mm, buscando uniformidad y consistencia en el fermentador.

6.2.9. Desmucilagador

Durante la fermentación del café, en base a la bibliografía consultada, es necesario extraer el mucílago que se fluidiza para evitar defectos en la bebida y aparición de organismos no deseados. La zona de desmucilagado se ubica en el fondo de la plancha interna del depósito

y presenta agujeros que funcionan como una coladera, en la **Figura 35** se muestra la ubicación del desmucilaginador.

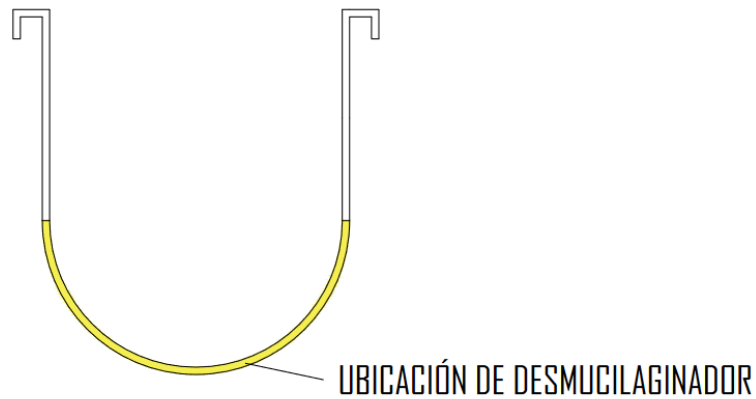


Figura 35. Ubicación del desmucilaginador en el fermentador.

En la **Figura 36** se muestra la forma en que se pretende realizar los agujeros en la chapa metálica, la sección a realizar las perforaciones es de 80mm y se deben considerar las distancias a y b entre agujeros junto con el diámetro d que presenta el agujero.

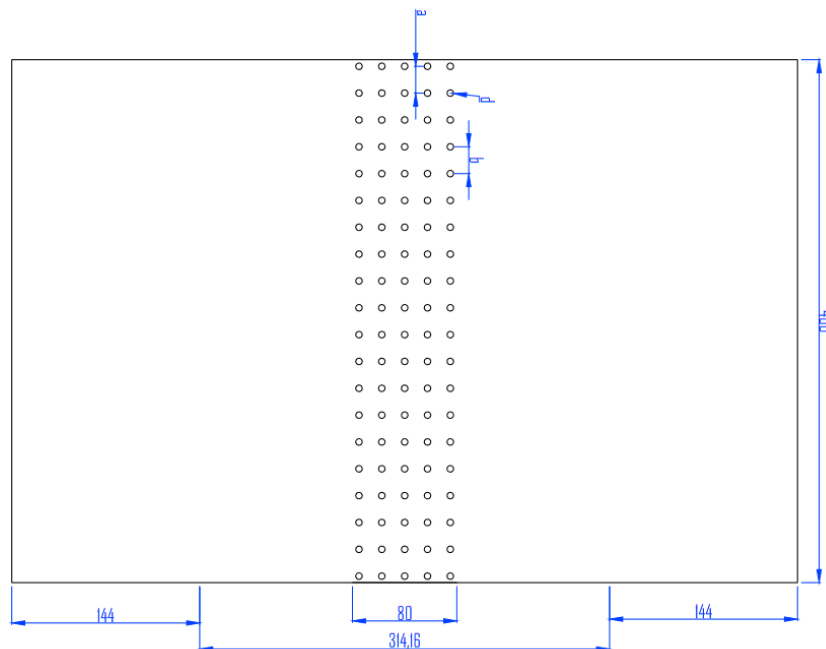


Figura 36. Disposición de la chapa para el desmucilaginado.

Según Montilla et al., (2008) el diámetro polar y ecuatorial del café en baba es de 12,35mm y 9.02mm respectivamente para café sin seleccionar. Para evitar que el café salga por las perforaciones de 6mm.

Ahora se debe determinar la cantidad de agujeros que se van a realizar, estos dependen de las distancias a y b . Para no afectar la rigidez de la chapa se establece un valor de a y b equivalente a 10mm:

$$a = b = 10\text{mm}$$

Analizando la disposición de los agujeros se puede obtener la expresión que permite calcular el número de filas y columnas. El número de filas se calcula por la **ecuación (50)**, mientras que el número de columnas por la **ecuación (51)**.

$$N_F = \frac{80\text{mm}}{b} - 1 \quad (50)$$

$$N_C = \frac{400\text{mm}}{a} - 1 \quad (51)$$

Reemplazando para calcular el número de filas y columnas de agujeros se tiene:

$$N_F = \frac{80\text{mm}}{10\text{mm}} - 1 = 7$$

$$N_C = \frac{400\text{mm}}{10\text{mm}} = 39$$

El número total de agujeros se calcula al multiplicar las filas por las columnas:

$$N_T = 39 * 7 = 273$$

Se plantea utilizar acero inoxidable ANSI 430

El espesor necesario se calculó en la sección **6.2.8**.

6.2.10. Análisis de transferencia de calor sobre el agua

Para el análisis de transferencia de calor en el depósito se deben realizar una serie de suposiciones que permitan idealizarlo en cierto grado, estas suposiciones son:

- Masa del café en baba totalmente homogénea, es decir, la temperatura en toda la masa es la misma.
- La plancha de acero que separa el café del agua se considera como pared delgada, por lo que no opone resistencia al flujo de transferencia de calor.
- El calor fluye únicamente por las paredes del recipiente, es decir, la parte superior, frontal, trasera y exterior del depósito se encuentran con aislamiento evitando el flujo de calor. En la **Figura 39** se indica donde se ubica el aislamiento.

En la **Figura 37** se muestra la representación del depósito, en ella se puede observar que la masa de café ocupa todo el espacio del depósito y la camisa por donde fluye el agua es de 20mm de ancho.

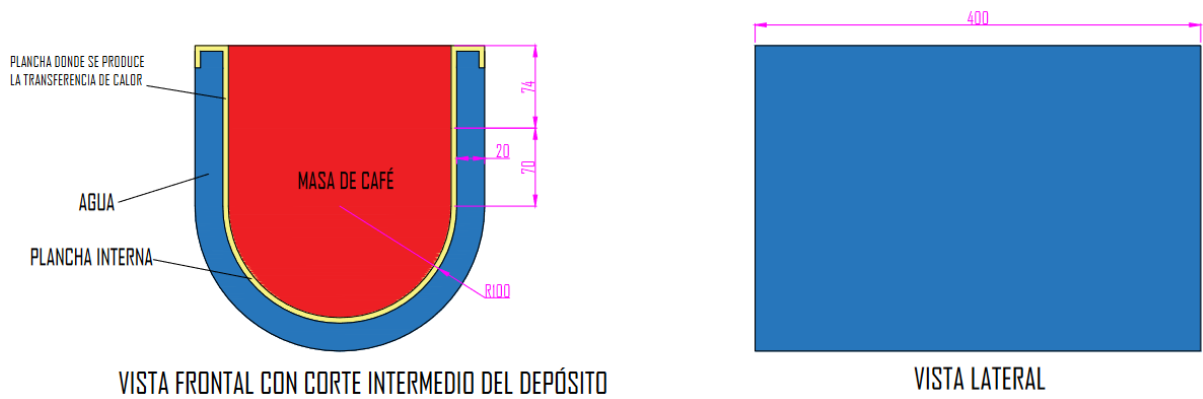


Figura 37. Disposición de la masa y agua para el análisis térmico.

El depósito tiene una forma semicircular junto con dos secciones rectangulares por donde se realiza la transferencia de calor. Para simplificar el análisis de transferencia de calor se opta por desdoblar la parte circular para que se convierta en un área plana, como se observa en la **Figura 38**.

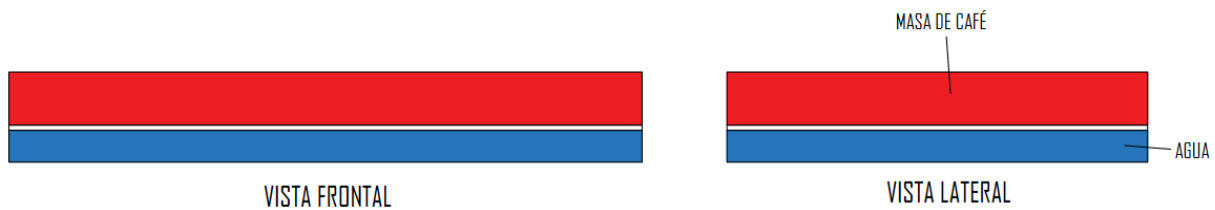


Figura 38. Depósito de café desdoblado.

Se calcula el calor específico del café a una humedad de 61% con la **ecuación (35)**.

$$c_{p\text{Cafe}} = 1,674 + 2,51 * 0,61 = 3,2051 \frac{\text{kJ}}{\text{kgK}}$$

Con base a la bibliografía consultada se conoce que el café al momento de ser despulpado presenta una temperatura de 25 a 27° C, por lo que se escoge un promedio de 26 para realizar los cálculos.

Se presenta un caso crítico en el análisis de la transferencia de calor del depósito, cuando se debe enfriar la masa de café en el salto de temperatura más elevado.

En el caso de refrigeración la masa de café debe pasar de 26° C a 15° C, utilizando la **ecuación (34)** para calcular la cantidad de energía necesaria a extraer de la masa de café se tiene:

$$q_{cc} = m c_{p\text{Cafe}} (T_f - T_i)$$

$$q_{cc} = 10\text{kg} * 3205,1 \frac{\text{J}}{\text{kgK}} (15 \text{ } ^\circ\text{C} - 26 \text{ } ^\circ\text{C}) = -352561 \text{ J}$$

Ahora se propone un tiempo para extraer el calor del depósito de 20 minutos, equivalente a 1200 segundos, la potencia a disipar es:

$$\dot{q}_{cc} = \frac{352561 \text{ J}}{1200\text{s}} = 293,8 \text{ W}$$

Debido a que se realizaron algunas suposiciones para el cálculo del calor que debe aportar o extraer el agua, se le añade un 20 % al valor calculado, se tiene:

$$\dot{q}_{cc} = 293,8 \text{ W} * 1,2 = 352,561 \text{ W} = 1202,23 \frac{\text{BTU}}{\text{h}}$$

Una vez conocida la potencia que debe disipar el agua se utiliza la **ecuación (34)** y se despeja el flujo másico \dot{m} , se usa el calor específico del agua a 20° C, véase el **Anexo 12**.

Para usar correctamente la **ecuación (34)** se establece una variación de la temperatura del agua entre la entrada y salida de 4° C. Reemplazando:

$$\dot{m} = \frac{352,561 \text{ W}}{4182 \frac{\text{J}}{\text{kgK}} * (4 \text{ °C})} = 0,02107 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

Se calcula el flujo volumétrico por:

$$\dot{V} = \frac{\dot{m}}{\rho}$$

Donde la densidad del agua debe ser cuando esta se encuentra a 20° C, véase el **Anexo 12**, reemplazando:

$$\dot{V} = \frac{0,021 \frac{\text{kg}}{\text{s}}}{998 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}} = 0,00002111 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} = Q$$

6.2.11. Dimensionamiento del aislamiento del depósito

Para asegurar que la transferencia de calor se genere únicamente entre el agua y la masa de café, alrededor del depósito se coloca una capa de lana de vidrio, mírese la **Figura 39**.

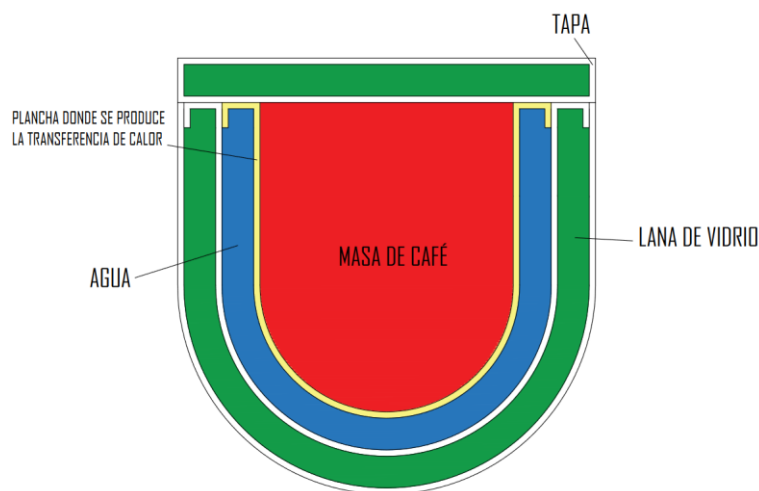


Figura 39. Aislamiento del depósito.

Para contener la capa de lana de vidrio se utiliza una lámina de acero inoxidable ANSI 430 de 1mm de espesor.

El aislante evita que el calor fluya por las paredes externas del depósito.

Para determinar el espesor de la capa de aislante que se debe colocar se asimilaran los siguientes criterios:

- La temperatura del agua es homogénea en todos los puntos.
- Se analiza el caso crítico en el que se identifica el mayor flujo de calor a través de las paredes exteriores del depósito.
- Las planchas de acero ANSI 430 son muy finas y presentan conductividades elevadas, se desprecian las resistencias que generan.
- La masa de café es totalmente homogénea y se encuentra en equilibrio térmico con el agua.
- La superficie del depósito se encuentra en equilibrio térmico con la temperatura ambiente.

El material que se usa como aislante es lana de vidrio por las características de baja conductividad que posee ($0,043 \frac{W}{m \cdot ^\circ C}$), en el **Anexo 14** se pueden verificar los valores de conductividad de algunos materiales. En la **Figura 40** se muestra la disposición del aislante sobre el depósito.

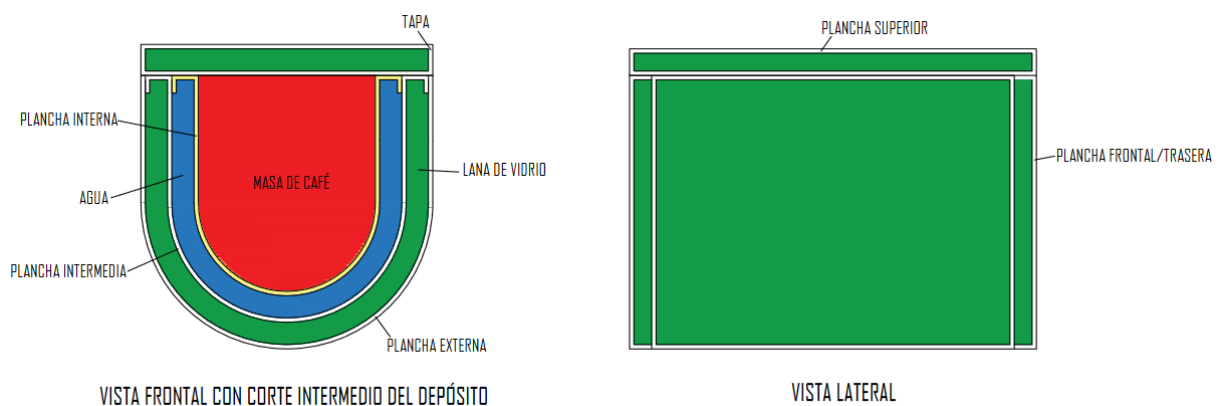


Figura 40. Paredes con aislamiento del depósito.

Los cultivos de café se desarrollan únicamente en condiciones con temperaturas de 15 a 25° C, sin embargo, puede soportar temperaturas más elevadas por largos periodos, pero no más bajas (International coffee organization, sf)

Se toma un rango de temperaturas ambiente de 15 a 30° C, un rango de temperatura de fermentación de 15 a 26 ° C por lo que el salto crítico de temperatura se generaría cuando la masa del café y agua están a 15° C y la temperatura ambiente sea de 30° C.

Debido a que la temperatura ambiente es superior a la del agua y café el calor fluye hacia el interior del depósito, se infiere que el sistema va a ganar calor, en la **Figura 41** se indica el diagrama de transferencia de calor.

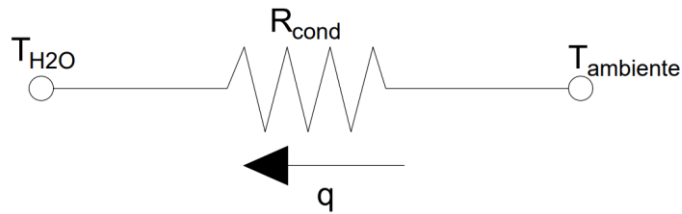


Figura 41. Flujo de calor en el depósito.

Para calcular la transferencia de calor por conducción se utiliza la ecuación (31) en donde interviene el área de la superficie transversal del aislante, la conductividad de la fibra de vidrio y su espesor. Se utiliza una lámina de fibra de vidrio de 10mm de espesor.

Analizando la geometría de la camisa de aislamiento térmico, en la **Figura 40** se identifica que está conformado por una cubierta frontal, una trasera y la plancha externa.

El área de la cubierta frontal es idéntica a la de la trasera, las medidas se ubican en la **Figura 42**.

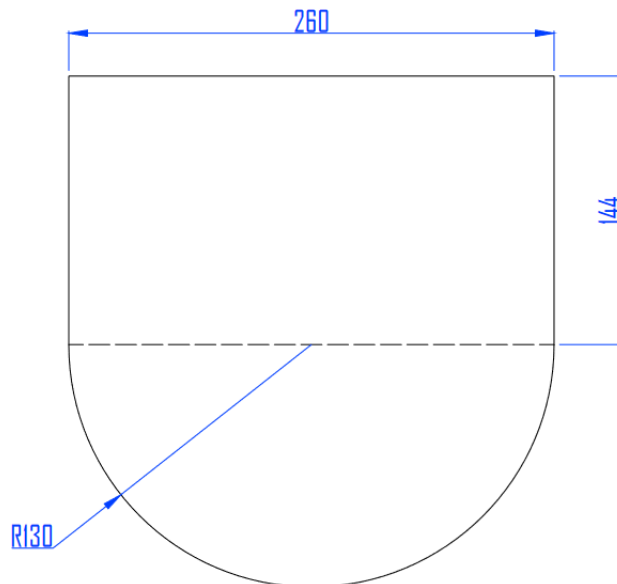


Figura 42. Dimensiones de cubierta frontal para aislamiento

En la **Figura 43** se indican las medidas de la cubierta externa:

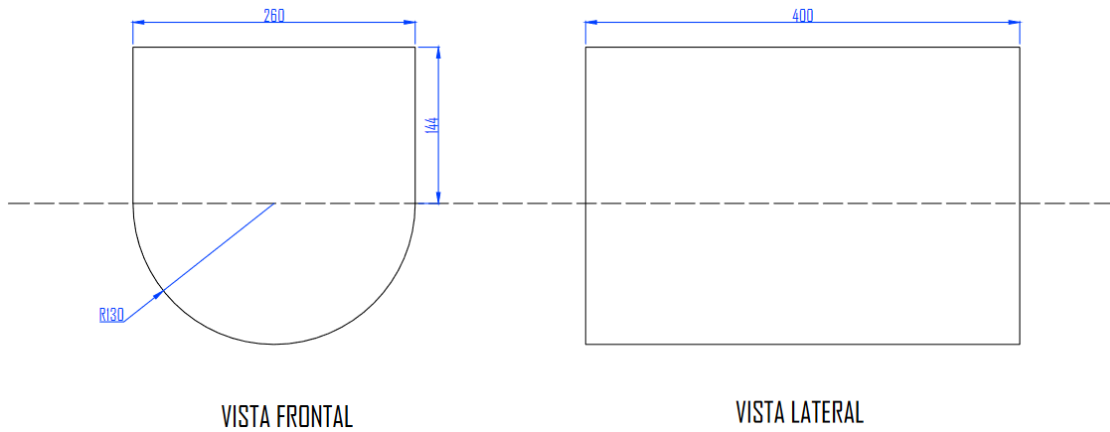


Figura 43. Dimensiones de cubierta externa

En la **Figura 44** se indican las medidas de la cubierta superior.



Figura 44. Dimensiones de cubierta superior

Revisando la **Figura 42**, **Figura 43** y **Figura 44** se puede determinar el área por donde se genera la transferencia de calor con la **ecuación (52)**.

$$A_{\text{trans}} = A_{\text{CF}} + A_{\text{CE}} + A_{\text{CS}} \quad (52)$$

Donde A_{trans} es el área total de transferencia, A_{CF} el área de la cubierta frontal, A_{CE} el área de la cubierta externa y A_{CS} el área de la cubierta superior.

Desarrollando la **ecuación (52)**.

$$A_{\text{trans}} = 2 \left(\frac{\pi D_{\text{CF}}^2}{8} + D_{\text{CF}} H_{\text{CF}} \right) + \left(\frac{\pi D_{\text{CE}}}{2} + 2 H_{\text{CE}} \right) L_{\text{CE}} + W_{\text{CS}} * L_{\text{CS}}$$

donde:

Tabla 13.*Medidas del depósito*

| Parámetro | Valor |
|-----------------|--------|
| D _{CF} | 0,26m |
| H _{CF} | 0,144m |
| D _{CE} | 0,26m |
| H _{CE} | 0,144m |
| L _{CE} | 0,4m |
| W _{CS} | 0,26m |
| L _{CS} | 0,4m |

Reemplazando:

$$A_{\text{trans}} = 2 \left(\frac{\pi(0,26\text{m})^2}{8} + 0,26\text{m} * 0,144\text{m} \right) + \left(\frac{\pi(0,26\text{m})}{2} + 2 * 0,144\text{m} \right) 0,4\text{m} + 0,26\text{m} * 0,4\text{m}$$

$$A_{\text{trans}} = 0,5105 \text{ m}^2$$

Con la **ecuación (32)** se calcula la resistencia de la capa de aislamiento térmico, el espesor es de la fibra de vidrio es de 10mm:

$$R_{\text{Cond}} = \frac{0,010\text{m}}{0,043 \frac{\text{W}}{\text{mK}} * 0,5105\text{m}^2} = 0,4554$$

Se calcula el flujo de calor a través de las láminas utilizando la **ecuación (33)**:

$$\dot{q} = \frac{30^\circ\text{C} - 15^\circ\text{C}}{0,4554} = 32,938 \text{ W}$$

Se obtiene un valor positivo debido a que el calor ingresa al sistema. El valor calculado en la realidad es mayor, ya que no se consideró el calor adquirido por radiación ni convección con el ambiente, por lo que se opta por adicionarle un 20% más al valor calculado:

$$\dot{q} = 32,938 \text{ W} * 1,2 = 39,5256 \text{ W}$$

El calor que se transfiere a través de la capa de aislante es muy bajo, por lo que se asegura de que casi todo el calor generado por el café sea proporcionado o extraído a través del flujo de agua.

6.2.12. Diseño del extractor del mucílago

Debajo de la plancha de acero perforada se ubica otra lámina que va doblada y soldada a la plancha agujereada, la lámina se utiliza para extraer el mucílago hacia el exterior del depósito únicamente por gravedad, obsérvese la **Figura 45** donde se indica la ubicación y forma de la plancha mencionada.

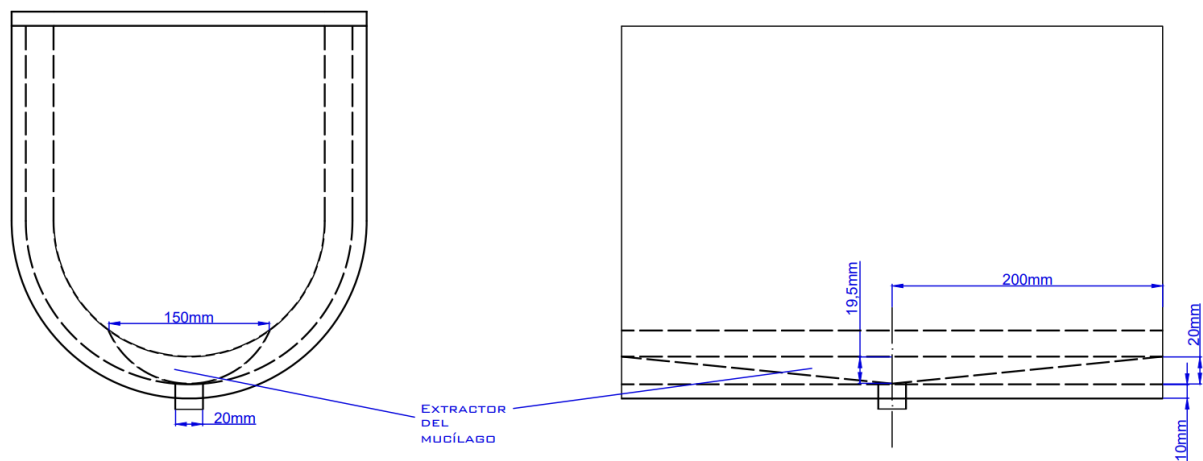


Figura 45. Sistema extractor del mucílago.

Fuente: (Autor)

En la **Figura 46** se muestra el sistema de extracción del mucílago con mayor detalle.

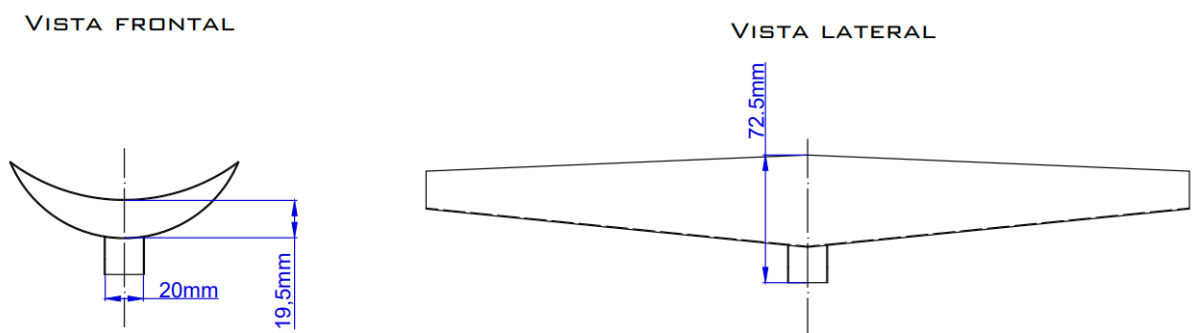


Figura 46. Detalle del extractor de mucílago.

Fuente: (Autor)

Al modelar la pieza del extractor del mucílago junto con la zaranda en el software SolidWorks, se observa que los agujeros de la zaranda con el extractor no coinciden en las esquinas, obsérvese la **Figura 47**.

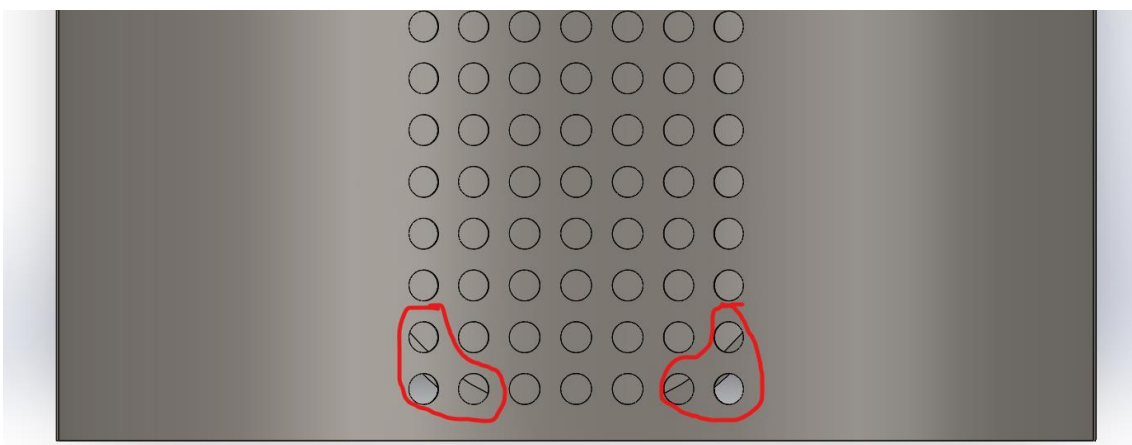


Figura 47. Inconsistencia entre el extractor del mucílago y la zaranda.

Fuente: (Autor)

Para solucionar la inconsistencia se elimina los agujeros encerrados en las zonas rojas de la **Figura 47**. En la **Figura 48** se observa el resultado al eliminar los agujeros de las esquinas.

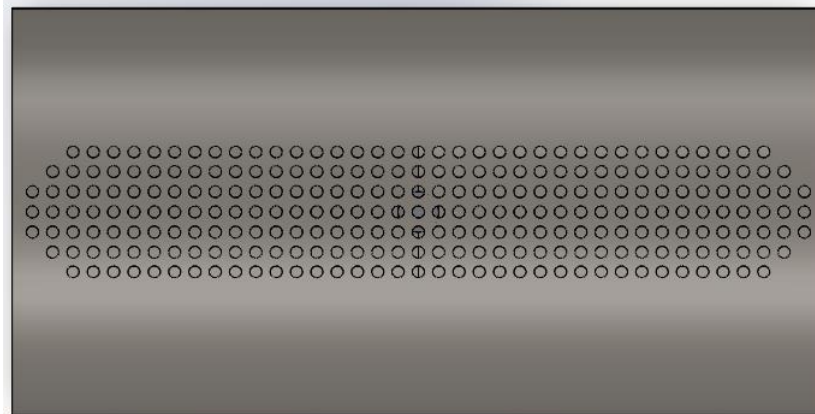


Figura 48. Ensamble de la zaranda y el extractor.

Fuente: (Autor)

6.2.13. Pesos sobre el eje y rodamientos

Determinar el peso total que debe soportar el eje permite obtener correctamente el momento flector máximo y los esfuerzos cortantes generados en el mismo para luego poderlo dimensionar de forma adecuada. El peso total se define por la sumatoria de todos los pesos de los elementos relevantes que soporta el eje, en el presente caso se tiene el peso de las cintas helicoidales, del depósito en sí junto con el agua que contiene para procesos de refrigeración, el peso del eje es despreciable. Entonces el peso total se puede determinar por la **ecuación (53)**.

$$P_{TOTAL} = P_{deposito} + P_{masa} + P_{H2O} + P_{Cintas} \quad (53)$$

3.1.1.1. Cálculo del peso de la masa

Para determinar el peso que tiene la masa de café en baba únicamente se lo multiplica por la gravedad:

$$P_{masa} = 10\text{kg} * 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 98,1 \text{ N}$$

3.1.1.2. Cálculo de peso del depósito

Para determinar el peso del depósito es necesario calcular la cantidad de masa que presenta, para ello se determina el volumen de material utilizado, se conoce que para su construcción se utilizan planchas de acero ANSI 430 y sus características se ubican en la **Tabla 14**.

Tabla 14.

Propiedades de acero AISI 430

| Acero ANSI 430 | |
|----------------|------------------------|
| Espesor | 1 mm |
| Densidad | 7930 kg/m ³ |

Fuente: (DIPAC, s.f.)

El depósito está conformado por dos planchas que ayudan a contener la masa de café en baba y el agua, dos planchas que sirven como tapas a los costados y una plancha superior que se utiliza como compuerta corrediza. Por lo que se utiliza la **ecuación (54)** para calcular el peso total

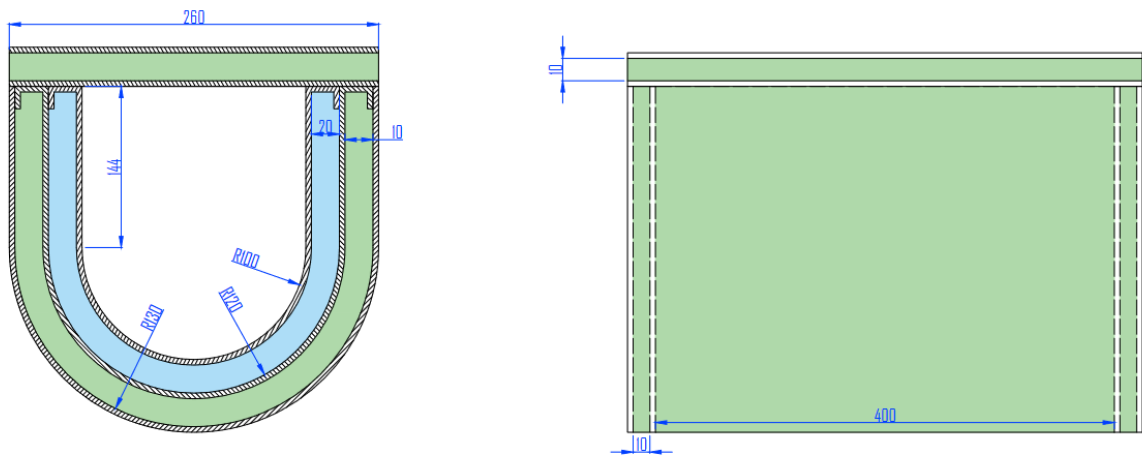
$$P_{\text{Deposito}} = m_{\text{Deposito}}g \quad (54)$$

Donde m_{Deposito} es la masa en kilogramos del depósito completo y g la gravedad, esta se puede calcular con la **ecuación (55)**.

$$m = \rho * V \quad (55)$$

Donde ρ es la densidad y V el volumen.

Observe la **Figura 49**, en ella se indica la como se constituye el depósito.



VISTA FRONTAL CON CORTE INTERMEDIO DEL DEPÓSITO

VISTA LATERAL

Figura 49. Secciones que conforman el depósito

Fuente: (Autor)

Se desglosa todos los componentes del depósito de la **Figura 49**.

En la **Figura 50** se indica la cubierta interna.

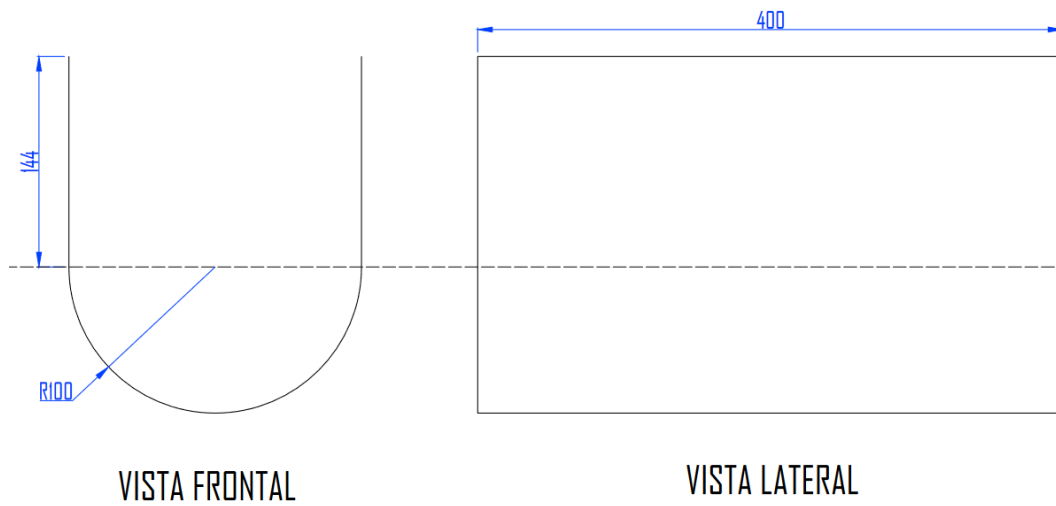


Figura 50. Medidas de la plancha interna

Fuente: (Autor)

En la **Figura 51** se indica la cubierta intermedia.

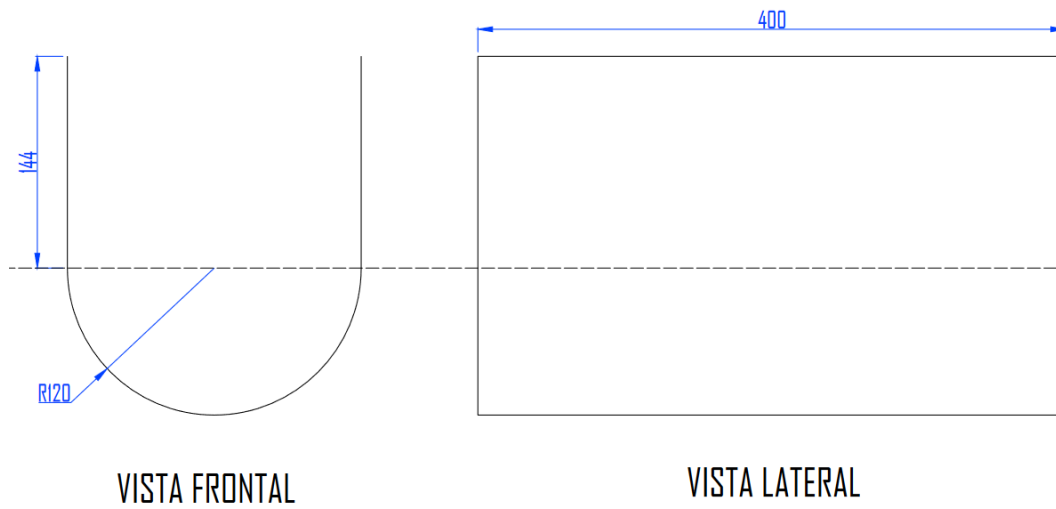


Figura 51. Medidas de la plancha intermedia

Fuente: (Autor)

En la **Figura 52** se indica la cubierta externa.

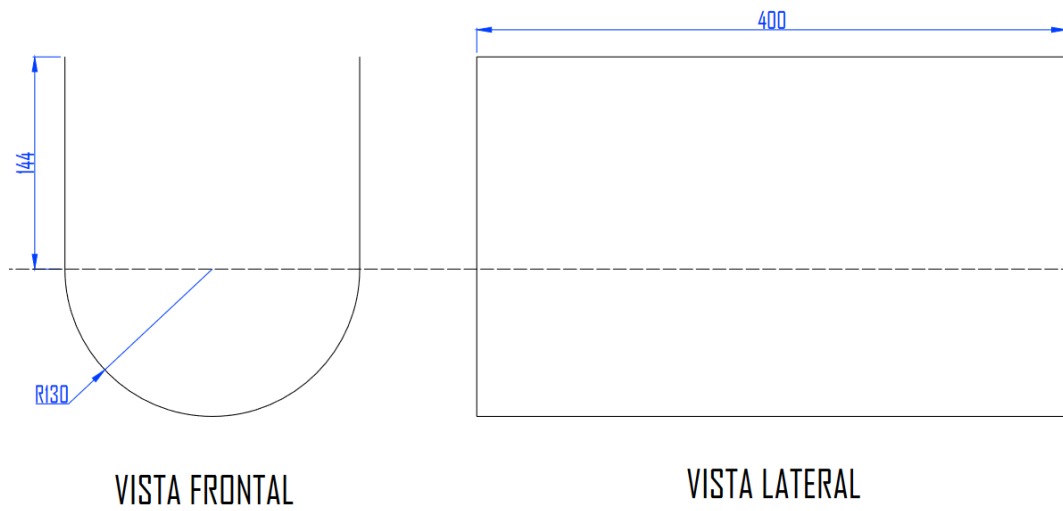


Figura 52. Medidas de la plancha externa

Fuente: (Autor)

En la **Figura 53** se indica la cubierta frontal.

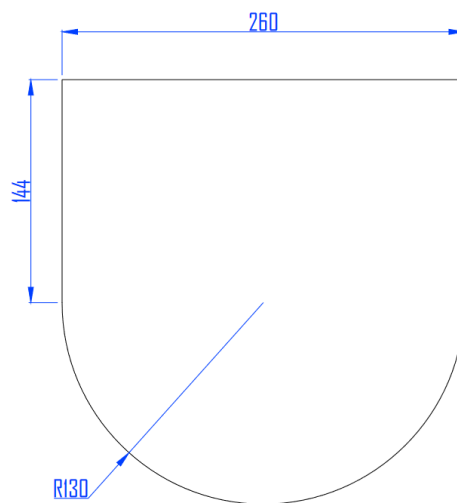


Figura 53. Medidas de cubierta frontal

Fuente: (Autor)

En la **Figura 54** se indica la cubierta superior.

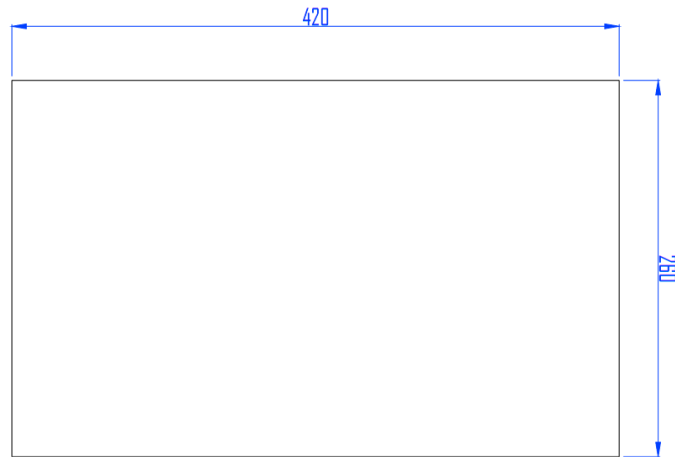


Figura 54. Medidas de cubierta superior

Fuente: (Autor)

Las medidas de las partes que conforman el depósito se ubican en la **Tabla 15:**

Tabla 15.

Medidas del depósito

| Parámetro | Valor |
|----------------------------------------------------------|--------------|
| Diámetro de la plancha interna D_{PIM} | 0,2m |
| Diámetro de la plancha media D_{PMM} | 0,24m |
| Diámetro de la plancha externa D_{PEM} | 0,26m |
| Diámetro de la cubierta frontal D_{CF} | 0,26m |
| Espesor de la plancha e_P | 0,001m |
| Longitud de cubierta interna, intermedia y externa L_d | 0,4m |
| Espesor del aislamiento e_{ais} | 0,01m |
| Espesor del agua e_{H_2O} | 0,02m |
| Altura de las planchas H | 0,144m |
| Ancho de la tapa W_{CS} | 0,26m |
| Altura de la tapa H_{CS} | 0,42m |

Fuente: (Autor)

El volumen de la plancha superior se calcula por la **ecuación (56)**.

$$V_{CS} = H_{CS}W_{CS}e_P \quad (56)$$

Reemplazando:

$$V_{CS} = 0,26m * 0,001m(0,42m) = 0,0001092 \text{ m}^3$$

Debido a que las planchas laterales están conformadas por una forma semicircular y una rectangular, el área de estas se define por la **ecuación (57)**.

$$A_P = \left(\frac{\pi D_P}{2} + 2H \right) L_D \quad (57)$$

Donde D_P es el diámetro de la plancha correspondiente. Reemplazando los valores para cada plancha y así determinar el área de cada una se tiene:

$$A_{PIM} = \left(\frac{\pi * 0,2m}{2} + 2 * 0,144m \right) * 0,4m = 0,2408 \text{ m}^2$$

$$A_{PMM} = \left(\frac{\pi * 0,24m}{2} + 2 * 0,144m \right) * 0,4m = 0,2659 m^2$$

$$A_{PEM} = \left(\frac{\pi * 0,26m}{2} + 2 * 0,144m \right) * 0,4m = 0,2785 m^2$$

Reemplazando para obtener el volumen de cada plancha:

$$V_{PIM} = 0,2408 m^2 * 0,001m = 0,0002408m^3$$

$$V_{PMM} = 0,2659 m^2 * 0,001m = 0,0002659m^3$$

$$V_{PEM} = 0,2785 m^2 * 0,001m = 0,0002785m^3$$

Ahora se procede a determinar el volumen de la plancha frontal y trasera, estas están conformadas por un semicírculo y un rectángulo, por lo que su volumen se determina por la **ecuación (58)**:

$$V_{PFM} = A_{PFM} * e_p \quad (58)$$

Como las planchas frontales y traseras son iguales, al valor obtenido del volumen se multiplica por 4, esto debido a que se usan dos planchas en cada sección, en cuanto al área esta se define por la **ecuación (59)**.

$$A_{CF} = \frac{\pi D_{CF}^2}{8} + D_{CF}H \quad (59)$$

Reemplazando:

$$A_{PFM} = \frac{\pi(0,26m)^2}{8} + 0,26m * 0,144m = 0,06398m^2$$

Reemplazando en la ecuación para determinar el volumen de la plancha frontal:

$$V_{PFM} = 0,06398m^2 * 0,001m = 0,00006398 m^3$$

Ahora se calcula la masa total del depósito en base a la **ecuación (36)** y conociendo que se tiene una plancha lateral interna, una plancha lateral intermedia, cuatro planchas entre traseras y frontales y además dos planchas superiores.

$$m_{deposito} = 7930 \frac{kg}{m^3} * (2 * 0,0001092 m^3 + 0,0002408m^3 + 0,0002659m^3 + 0,0002785m^3 + 4 * 0,00006398 m^3)$$

$$m_{deposito} = 9,9879 kg$$

Reemplazando en la **ecuación (54)** para obtener el peso del depósito.

$$P_{Deposito} = 9,9879 kg * 9,81 \frac{m}{s^2} = 97,9822 N$$

3.1.1.3. Cálculo del peso de las cintas

Para determinar el peso de las cintas se realiza un proceso similar al utilizado en el depósito, en este caso el peso se calcula por la **ecuación (60)**:

$$P_{Cintas} = m_{cintas}g \quad (60)$$

En el cálculo de la masa para las cintas se requiere del volumen que presentan, este se determina por la **ecuación (61)**.

$$V_{\text{cinta}} = A_{\text{cinta}} * e \quad (61)$$

El área de una cinta se ve influenciada por las medidas que esta presenta y su longitud, en la **sección 6.2.5** ya se determinó este valor. Determinando el área de cada cinta se tiene:

$$A_{\text{CI}} = 0,015\text{m} * 1,3016\text{m} = 0,01952 \text{ m}^2$$

$$A_{\text{CE}} = 0,015\text{m} * 1,3053\text{m} = 0,01957 \text{ m}^2$$

Reemplazando para obtener el volumen de cada cinta:

$$V_{\text{CI}} = 0,01952 \text{ m}^2 * 0,002\text{m} = 3,904 * 10^{-5} \text{ m}^3$$

$$V_{\text{CE}} = 0,01957 \text{ m}^2 * 0,002\text{m} = 3,914 * 10^{-5} \text{ m}^3$$

Por lo que la masa total de las cintas es:

$$m_{\text{cintas}} = 7930 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} (3,904 * 10^{-5} \text{ m}^3 + 3,914 * 10^{-5} \text{ m}^3) = 0,6196 \text{ kg}$$

Determinando el peso, se tiene:

$$P_{\text{Cintas}} = 0,6196 \text{ kg} * 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 6,081 \text{ N}$$

3.1.1.4. Cálculo del peso del agua

El peso que presenta el agua sobre el eje se calcula por la **ecuación (62)**.

$$P_{\text{H}_2\text{O}} = m_{\text{H}_2\text{O}}g \quad (62)$$

Al igual que el cálculo para los anteriores pesos, en el caso del agua también es necesario determinar el volumen que presenta. El volumen del agua está determinado por la **ecuación (63)**.

$$V_{\text{H}_2\text{O}} = A_{\text{H}_2\text{O}}L_D \quad (63)$$

El área de agua existente se calcula por la **ecuación (64)**.

$$A_{\text{H}_2\text{O}} = \frac{\pi(D_{\text{PM}}^2 - D_{\text{PI}}^2)}{8} + e_{\text{H}_2\text{O}}H \quad (64)$$

Reemplazando:

$$A_{\text{H}_2\text{O}} = \frac{\pi((0,242\text{m})^2 - (0,2\text{m})^2)}{8} + 0,02\text{m} * 0,144\text{m} = 0,01017 \text{ m}^2$$

Para determinar el volumen se multiplica el área por la longitud del depósito:

$$V_{\text{H}_2\text{O}} = 0,01017 \text{ m}^2 * 0,4\text{m} = 0,004068 \text{ m}^3$$

Calculando la masa:

$$m_{\text{H}_2\text{O}} = 0,004068 \text{ m}^3 * 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} = 4,068 \text{ kg}$$

Reemplazando los valores en la ecuación para determinar el peso se tiene:

$$P_{\text{H}_2\text{O}} = 4,068 \text{ kg} * 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 39,9073 \text{ N}$$

Para obtener el peso total que actúa sobre el eje, simplemente se suman los pesos obtenidos:

$$P_{TOTAL} = 98,1 \text{ N} + 97,9822 \text{ N} + 6,081 \text{ N} + 39,9073 \text{ N} = 242,0705 \text{ N}$$

6.2.14. Configuración del eje

En las aplicaciones prácticas los ejes no mantienen un diámetro uniforme, estos suelen ser escalonados con la finalidad de facilitar y mejorar el ensamblaje de los rodamientos. La configuración que se elige para el presente caso es la que se observa en la **Figura 55**.



Figura 55. Configuración de eje.

Fuente: (Autor)

Las formas de cruz en la **Figura 55** indican las posiciones en donde se ubican los rodamientos.

Las medidas del eje y ubicación de los apoyos que presenta se indican en la **Figura 56**.

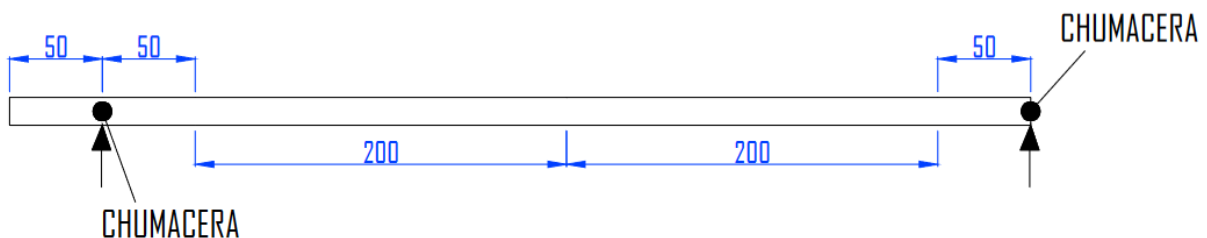


Figura 56. Medidas y apoyos del eje

Fuente: (Autor)

6.2.15. Cálculo de momento máximo y cortante máximo en el eje

Se realiza un diagrama de cuerpo libre donde se ubican las reacciones de los rodamientos que soportan el peso. En la **Figura 57** se muestra el diagrama de cuerpo libre para el análisis del eje.

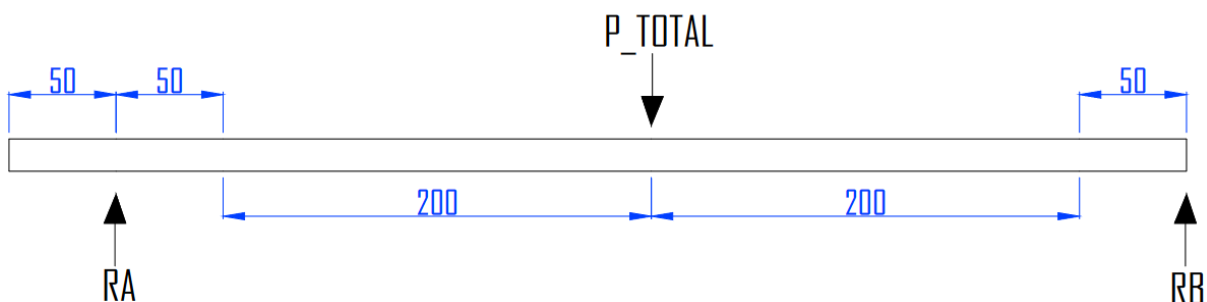


Figura 57. Diagrama de cuerpo libre del eje

Fuente: (Autor)

Se determinan las reacciones R_A y R_B para poder realizar los diagramas de esfuerzo cortante y momento flector, para ello se plantea una sumatoria de momentos con sentido horario positivo:

$$\sum M_A = 0$$

$$P_{\text{total}} * 0,250\text{m} - R_B * 0,5\text{m} = 0$$

Despejando R_B

$$R_B = \frac{P_{\text{total}} * 0,250\text{m}}{0,5\text{m}}$$

Reemplazando:

$$R_B = \frac{242,0705 \text{ N} * 0,250\text{m}}{0,5\text{m}} = 121,0352 \text{ N}$$

Ahora para determinar la reacción R_B se plantea una sumatoria de fuerzas en el eje Y:

$$\sum F_Y = 0$$

$$R_A + R_B - P_{\text{total}} = 0$$

Despejando la reacción R_A :

$$R_A = P_{\text{total}} - R_B$$

Reemplazando:

$$R_A = 242,3046 \text{ N} - 121,1523 \text{ N} = 121,0352 \text{ N}$$

Una vez determinadas todas las reacciones que actúan sobre el eje, se calculan los esfuerzos cortantes y momentos máximos, para ello se realiza un análisis por tramos en el eje y se determinan las ecuaciones de la **Tabla 16** para cada tramo.

Tabla 16.

Ecuaciones de esfuerzo cortante y momentos

| Tramo | Rango | Ecuación Cortante | Ecuación Momento |
|-------|----------------------------------------|-----------------------------------|-------------------------------------------------------|
| OA | $0 \leq x \leq 0,05\text{m}$ | $V_{OA} = 0$ | $M_{OA} = 0$ |
| AC | $0,05\text{m} \leq x \leq 0,3\text{m}$ | $V_{AC} = R_A$ | $M_{AC} = R_A(x - 0,05\text{m})$ |
| CB | $0,3\text{m} \leq x \leq 0,55\text{m}$ | $V_{CB} = R_A - P_{\text{total}}$ | $M_{CB} = R_A(x - 0,05\text{m}) - P(x - 0,3\text{m})$ |

Fuente: (Autor)

Reemplazando los valores de x en las ecuaciones de la **Tabla 16** se determinan los diagramas de cortante y momento flector máximo, estos diagramas se pueden observar en la **Figura 58**.

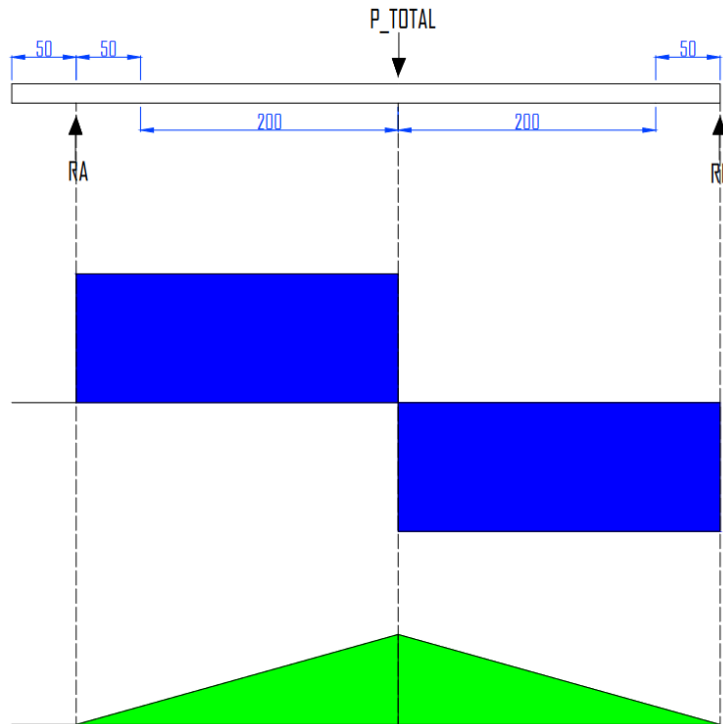


Figura 58. Diagramas de esfuerzo cortante(azul) y momento flector(verde).

Fuente: (Autor)

Basándose en el diagrama de esfuerzos cortantes, el momento máximo ocurre cuando el esfuerzo cortante pasa por cero, esto sucede a la distancia de 0,3m, por lo que reemplazando en la ecuación del momento para el tramo AC:

$$M_{AC} = 121,0352 \text{ N}(0,3\text{m} - 0,05\text{m}) = 30,2588 \text{ Nm} = M_{\text{maximo}}$$

6.2.16. Dimensionamiento de eje

Una vez determinadas los esfuerzos máximos se aplica la **ecuación (19)** para calcular el diámetro mínimo que debe tener el eje, además se conoce que el material de construcción del eje es un acero inoxidable ANSI 430 con una resistencia a la flexión de 220 MPa, reemplazando:

$$d = \sqrt[3]{\frac{32 * 1,2}{\pi(220 \text{ MPa})} \sqrt{((30,2588 \text{ Nm})^2 + (27,1899 \text{ Nm})^2)}} = 0,01312 \text{ m} = 13,12 \text{ mm}$$

El diámetro calculado es el diámetro mínimo que puede presentar el eje.

Las dimensiones finales del eje se muestran en la **Figura 59**.

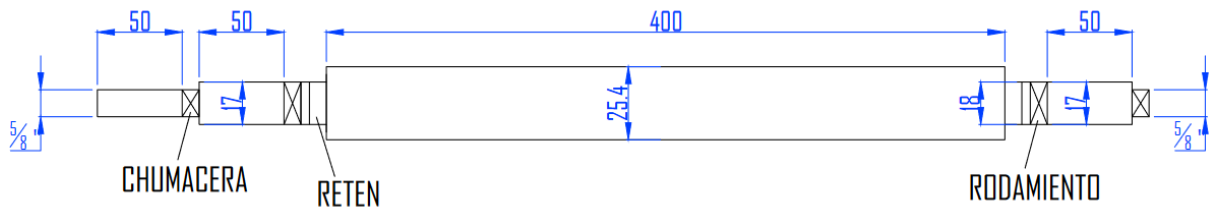


Figura 59. Medidas y configuración final del eje.

Fuente: (Autor)

6.2.17. Seccionamiento del eje

El eje debe ser de carácter desmontable para facilitar labores de mantenimiento y armado del depósito y las cintas helicoidales en caso de que se ocasione algún defecto en las mismas por inconvenientes en la masa de café a fermentar.

En el presente trabajo se utiliza el acople de ejes por bridas sujetos por pernos, el tipo de acople se muestra en la **Figura 60**.

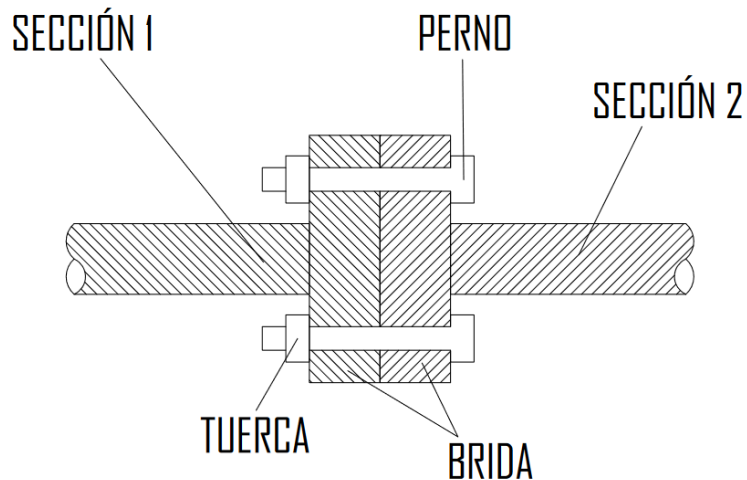


Figura 60. Representación de acople por bridas..

Fuente: (Autor)

El eje del fermentador se encuentra dividido en tres secciones, como se muestra en la **Figura 61**. En las secciones 1 y 2 se ubican los rodamientos y chumaceras, mientras que la sección dos es donde van montadas las cintas helicoidales.

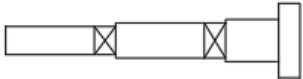

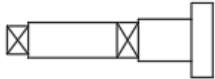
| | |
|------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
|  | SECCIÓN 1 |
|  | SECCIÓN 2 |
|  | SECCIÓN 3 |

Figura 61. Secciones que conforman el eje.

Fuente: (Autor)

Para el diseño de las bridas se propone una diferencia de 19mm entre el diámetro del eje y el de la brida para asegurar que se pueda ubicar el perno sin inconvenientes. En la **Figura 62** se indica la disposición de la brida.

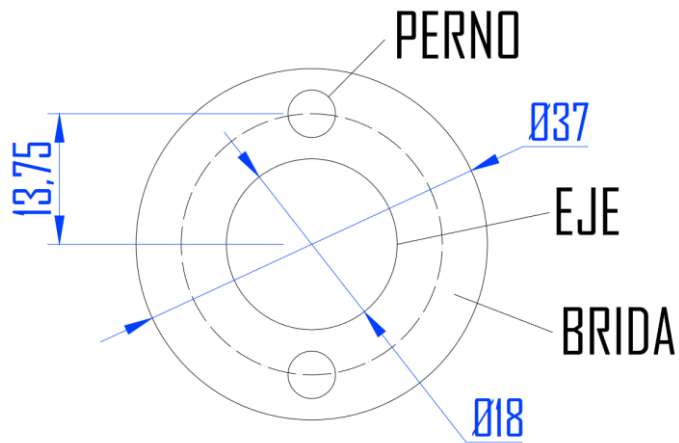


Figura 62. Configuración de la brida.

Fuente: (Autor)

Se calcula el diámetro mínimo que deben tener los pernos para soportar el esfuerzo cortante. En la **Figura 63** se indican las cargas que soportan los pernos.

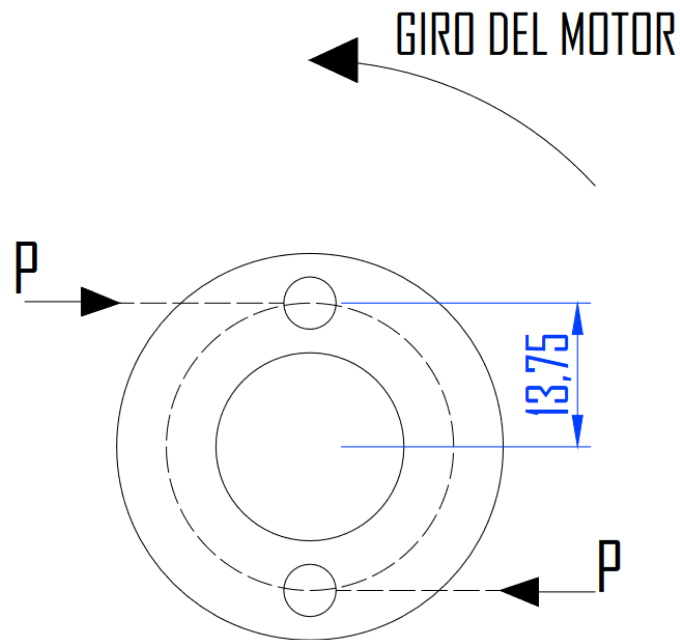


Figura 63. Esfuerzo que soportan los pernos.

Fuente: (Autor)

En la **Figura 63** se observa que los pernos únicamente soportan carga cortante. Para calcular la fuerza de corte se utiliza la **ecuación (65)**.

$$T = Pr \tag{65}$$

Despejando la fuerza P se tiene:

$$P = \frac{T}{r} = \frac{27,1899\text{Nm}}{0,01375\text{m}} = 1977,4472 \text{ N}$$

La fuerza se distribuye en 2 secciones por lo que:

$$P_{\text{seccion}} = \frac{P}{\#\text{Pernos}} = \frac{1977,4472 \text{ N}}{2} = 988,7236 \text{ N}$$

Despejando el diámetro de la **ecuación (8)** y relacionándola con el factor de seguridad y esfuerzo de la **ecuación (10)**:

$$d_{\text{perno}} = \sqrt{\frac{8P_{\text{seccion}}\eta}{\pi S_y}}$$

Reemplazando:

$$d_{\text{perno}} = \sqrt{\frac{8(988,7236 \text{ N})(1,2)}{\pi(220\text{MPa})}} = 0,0037 \text{ m} = 3,7 \text{ mm}$$

Se seleccionan pernos de 4 mm de diámetro.

6.2.18. Soportes de cintas helicoidales

Las cintas presentan soportes para mantener la rigidez durante el mezclado. En la **Figura 64** se muestra la disposición de las cintas helicoidales alrededor del eje.

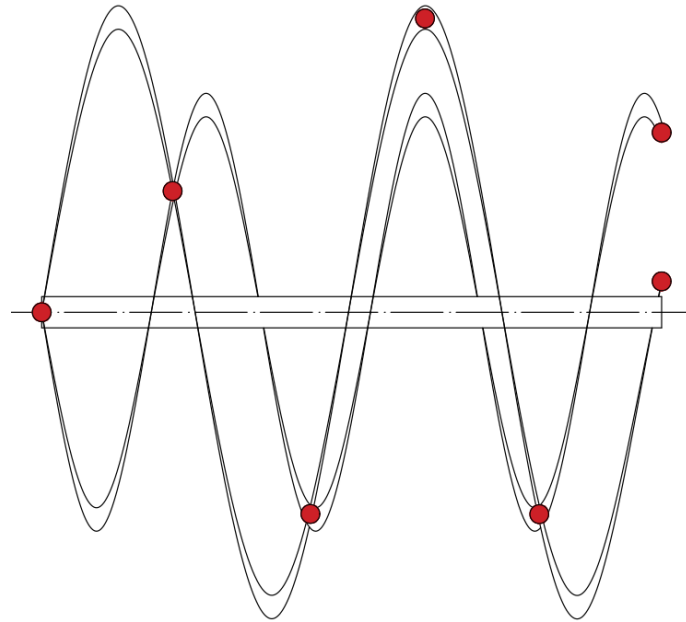


Figura 64. Disposición de cintas helicoidales sobre el eje.

Fuente: (Autor)

Los puntos rojos son los apoyos que se requieren, en este caso se necesitan 7 soportes de sección circular.

Se realiza un análisis únicamente por flexión, ya que el soporte debe resistir el peso de las cintas. En la **Figura 65** se indica el diagrama de cuerpo libre de una barra.

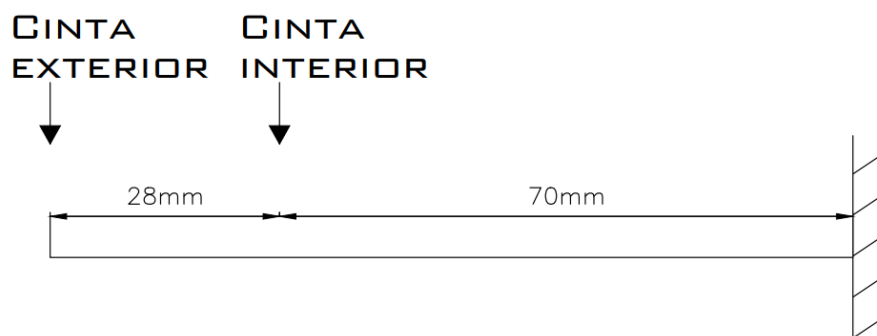


Figura 65. Diagrama de cuerpo libre de la barra de soporte.

Fuente: (Autor)

El volumen y la densidad de cada cinta es conocido, ya que se calculó en la sección **3.1.1.3**, calculando el peso de cada cinta:

$$P_{CI} = 7930 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 3,904 * 10^{-5} \text{m}^3 * 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 3,037 \text{ N}$$

$$P_{CE} = 7930 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 3,914 * 10^{-5} \text{m}^3 * 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 3,0448 \text{ N}$$

Se necesita el momento flector máximo, por lo que se determinan las ecuaciones que describen el comportamiento del esfuerzo cortante y momento, estas se ubican en la **Tabla 17**.

Tabla 17.

Ecuaciones de esfuerzo cortante y momento flector en barras de soporte.

| Tramo | Rango | Cortante | Momento |
|-----------|----------------------------|--------------------------------|--------------------------------------------|
| $C_I C_E$ | $0m \leq x \leq 0,07m$ | $V_{C_E C_I} = -P_{CE}$ | $M_{C_E C_I} = -P_{CE}x$ |
| $C_I O$ | $0,07m \leq x \leq 0,098m$ | $V_{C_I O} = -P_{CE} - P_{CI}$ | $M_{C_I O} = -P_{CI}(x - 0,07m) - P_{CE}x$ |

Fuente: (Autor)

Reemplazando los valores de x en las ecuaciones de la **Tabla 17** se dibujan los diagramas de esfuerzo cortante y momento indicados en la **Figura 66**.

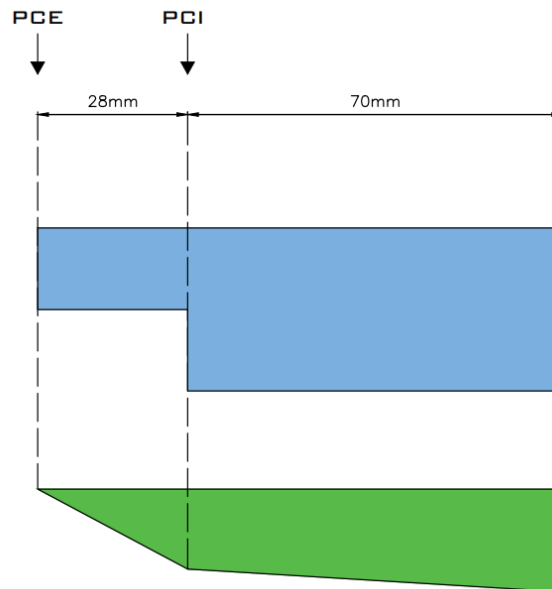


Figura 66. Diagramas de esfuerzos cortantes y momento flector de barras de soporte.

Fuente: (Autor)

Según los diagramas de esfuerzo cortante, el momento máximo se tiene en el punto de soldadura con el eje, entonces se reemplaza el valor de x en la ecuación del momento para el tramo $C_I O$ obteniéndose:

$$M_{C_I O} = -3,037 \text{ N}(0,098m - 0,07m) - 3,0448 \text{ N}(0,098m) = -0,383 \text{ Nm}$$

Se realiza el análisis para un único soporte, se identifica el peso que debe soportar cada uno:

$$M_{\text{Barra}} = \frac{M_{\text{maximo}}}{N_{\text{barras}}} = \frac{0,383 \text{ Nm}}{7} = 0,05477 \text{ Nm}$$

Se utiliza la **ecuación (18)** y se la relaciona con la **ecuación (10)** para calcular el diámetro mínimo que debe tener la barra, en este caso se utiliza un factor de seguridad (η) de 1,2 y la resistencia a la fluencia del acero ANSI 430.

$$d = \sqrt[3]{\frac{64\eta M}{\pi S_y}} = \sqrt[3]{\frac{64 * 1,2 * 0,05477 \text{ Nm}}{\pi * 220 \text{ MPa}}} = 0,001825 \text{ m} = 1,825 \text{ mm}$$

El diámetro obtenido es muy pequeño debido a la poca carga que se tiene, se utilizan barras de soporte de un cuarto de pulgada.

6.2.19. Selección de chumaceras

Los rodamientos son piezas fundamentales en mecanismos giratorios, ya que estos aseguran un giro más suave y con menos fricción entre elementos o piezas, evitando la generación de calor y posibles deformaciones.

En la **Figura 55** se indica la ubicación de las chumaceras en el eje.

Para la selección de rodamientos comúnmente se utilizan metodologías de manuales de fábricas de rodamientos como son la metodología de SKF o FAG.

En el presente caso se utilizará la metodología de rodamientos FAG (s.f.) que cumple con los requerimientos de la norma DIN 732T1 y DIN 732 T2.

El proceso de selección de rodamientos se inicia con la selección del rodamiento para comprobar si soporta las cargas radiales y axiales. Mediante el análisis de los esfuerzos y momentos en la máquina únicamente se presentan esfuerzos radiales en los rodamientos. Las cargas presentes en los rodamientos son:

$$R_A = 121,0352 \text{ N}$$

$$R_B = 121,0352 \text{ N}$$

Se utiliza el dimensionamiento mediante el manual de rodamientos FAG (s.f.). Se inicia el dimensionamiento del rodamiento para el soporte en A, en esta sección el eje presenta una dimensión de 5/8 pulgada, por lo que se selecciona el rodamiento **16203.010** del catálogo de rodamientos FAG (s.f.) con las características indicadas en la **Tabla 18**.

Tabla 18.

Características del rodamiento.

| Rodamiento | d | a | b | h | C | C0 |
|------------------|--------|--------|-------|---------|--------|---------|
| 16205.012 | 5/8 in | 125 mm | 32 mm | 30,2 mm | 9,5 kN | 4,75 kN |

Fuente: (FAG, s.f.)

Se conoce que el rodamiento es de la serie 62 y el número característico del agujero es 05, por lo que se determina el factor f_0 en el **Anexo 11**, se obtiene un valor de 13.1. Debido a que en el rodamiento únicamente actúan fuerzas radiales. Se utiliza la **ecuación (26)** para determinar los valores de X y Y para poder determinar la carga equivalente mediante la **ecuación (29)**. Entonces:

$$\frac{f_0 F_a}{C_0} = \frac{13,1 * 0\text{kN}}{4,75\text{kN}} = 0$$

$$e = \frac{0 \text{ kN}}{0,121 \text{ kN}} = 0$$

Por lo que $X = 1$ y $Y = 0$. Reemplazando en la **ecuación (29)**:

$$P = 1 * 0,121 \text{ kN} + 0 * 0\text{kN} = 0,121 \text{ kN}$$

Se determina la vida nominal del rodamiento en horas con la **ecuación (30)**:

$$L_{h10} = \left(\frac{9,5\text{kN}}{0,121 \text{ kN}} \right)^3 \frac{10^6}{13,1\text{rpm} * 60} = 615 * 10^6 \text{ horas}$$

Ahora se determina el factor de velocidad mediante la **ecuación (28)**, el valor de p es de 3, ya que el rodamiento es de bolas rígidas.

$$f_n = \sqrt[3]{\frac{\frac{100}{3}}{13,1 \text{ rpm}}} = 1,3652$$

En la **Tabla 19** se encuentra los valores del factor de esfuerzo recomendados por el manual de rodamientos FAG (s.f.).

Tabla 19.

Factor de esfuerzo dinámico recomendado

| | |
|-------------------|---------|
| Centrifugadoras | 2,5...3 |
| Batidoras grandes | 3,5...4 |

Fuente: (FAG, s.f.)

En el caso actual se escoge el valor recomendado para batidoras grandes y se lo promedia, obteniéndose un valor de f_L de 3,75. Despejando y calculando el factor de esfuerzo dinámico con la **ecuación (27)** se tiene:

$$f_L = \frac{9,5 \text{ kN}}{0,121 \text{ kN}} * 1,3652 = 108$$

Debido a que el valor del factor de esfuerzo dinámico calculado es mayor al recomendado por el manual, el rodamiento se encuentra bien seleccionado.

6.2.20. Selección de rodamientos para depósito

Las reacciones que se tienen en los rodamientos ubicados en el depósito presentan las mismas cargas que en las chumaceras, sin embargo, en este caso únicamente se seleccionan los rodamientos de bolas rígidos del catálogo de rodamientos FAG.

En la **Figura 55** se muestra la posición de los rodamientos en el eje.

Los rodamientos son seleccionados mediante la metodología de rodamientos FAG (s.f.).

Se selecciona el rodamiento rígido de bolas **6003.2RSR** que cumple con el diámetro interno de 17mm para el eje el rodamiento es de la serie 60, y el número de agujero característico es 03. En la **Tabla 20** se indican las características del rodamiento.

Tabla 20.*Características del rodamiento en A y B*

| Rodamiento | d | D | B | C | C0 |
|------------|-------|-------|-------|------|---------|
| 6003.2RSR | 17 mm | 35 mm | 10 mm | 6 kN | 3,25 kN |

Fuente: (FAG, s.f.)

Se utiliza el **Anexo 11** para obtener el valor del factor f_0 , en este caso se tiene la serie 60 y agujero característico 03, se determina un valor de 13,9. Al igual que para las chumaceras, únicamente se tienen fuerzas radiales, por lo que los valores de X y Y son 1 y 0 respectivamente. Reemplazando en la **ecuación (29)** se tiene:

$$P = 1 * 0,121 \text{ kN} + 0 * 0 \text{ kN} = 0,121 \text{ kN}$$

Ahora se calcula la vida nominal del rodamiento con la **ecuación (30)**.

$$L_{h10} = \left(\frac{6 \text{ kN}}{0,121 \text{ kN}} \right)^3 \frac{10^6}{13,1 \text{ rpm} * 60} = 159 * 10^6 \text{ horas}$$

Se calcula el facto de velocidad con la **ecuación (28)**.

$$f_n = \sqrt[3]{\frac{100}{\frac{3}{13,1 \text{ rpm}}}} = 1,3652$$

Por último, se calcula el factor de esfuerzo mediante la **ecuación (27)** y se compara con los valores de la **Tabla 19**.

$$f_L = \frac{6 \text{ kN}}{0,12 \text{ kN}} * 1,3652 = 68,26$$

Debido a que el valor del factor de esfuerzo calculado es mayor al sugerido, el rodamiento está bien seleccionado.

6.2.21. Ubicación de rodamientos y reten

Los rodamientos seleccionados deben ubicarse correctamente para que el mecanismo gire con suavidad y además evitar que los mismos estén en contacto con sustancias como en este caso es el mucílago. También es necesario impedir las fugas del mucílago no deseadas. Para ello se diseña una pieza que contiene el rodamiento y a un retén de doble labio que se ubica desde la parte interna del depósito para evitar fugas de mucilago.

En la **Figura 67** se muestra el boceto del sistema mencionado:

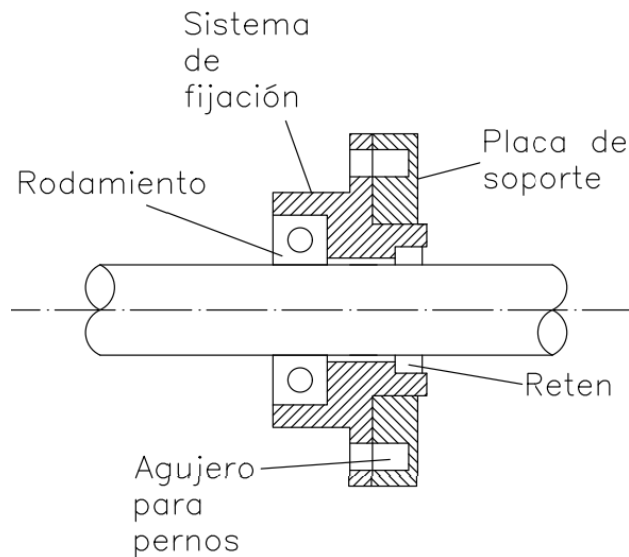


Figura 67. Sistema de fijación para rodamientos y reten al depósito.

Fuente: (Autor)

El rodamiento seleccionado en la que se debe contener es el **6002.2RSR** del catálogo de rodamientos FAG y el retén es el **Lx9053** de doble labio del catálogo de DBH. Las características del retén se ubican en la **Tabla 21**.

Tabla 21.

Características del reten.

| Diámetro del eje | Alojamiento | Altura | N DBH | Tipo | Giro | Compuesto |
|------------------|-------------|--------|-------|------|------|-----------|
| 18 | 28 | 6 | 9053 | Lx | L | NBR |

Fuente: (Autor)

Conocidas las dimensiones de los elementos, se diseña el sistema mediante el software SolidWorks y AutoCAD.

En base a SolidWorks se obtiene el sólido de la **Figura 68**.

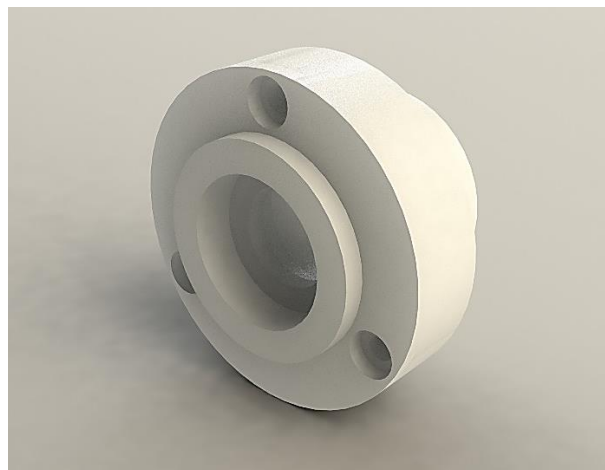


Figura 68. Diseño 3d en SolidWorks del sistema de fijación de rodamiento y reten.

Fuente: (Autor)

En la **Figura 69** se indican las medidas desde la vista frontal y lateral.

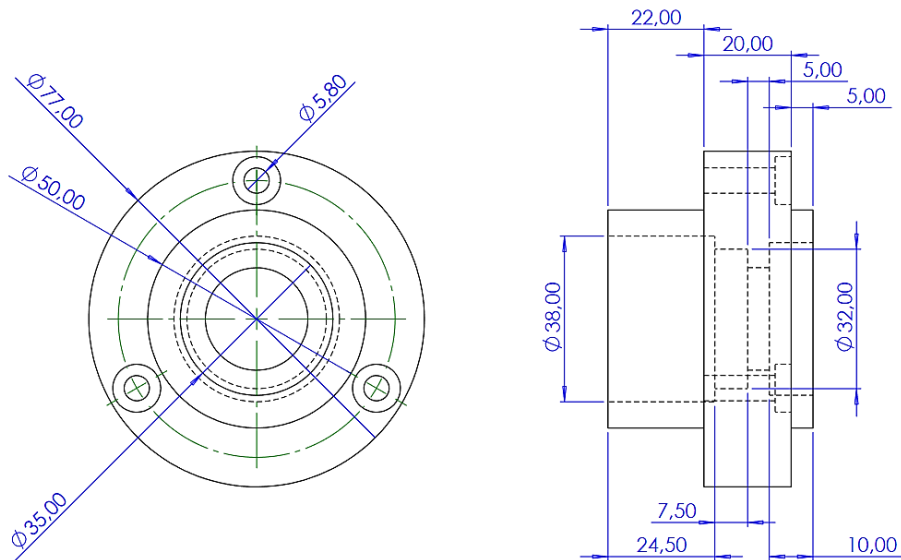


Figura 69. Medidas de sistema de fijación.

Fuente: (Autor)

6.2.22. Dimensionamiento de pernos para el acople que contiene rodamientos y reten

El sistema de montaje para los rodamientos y el retén va sujeto al depósito del fermentador mediante tornillos de rosca milimétrica. La ubicación de los pernos se muestra en la **Figura 70**.

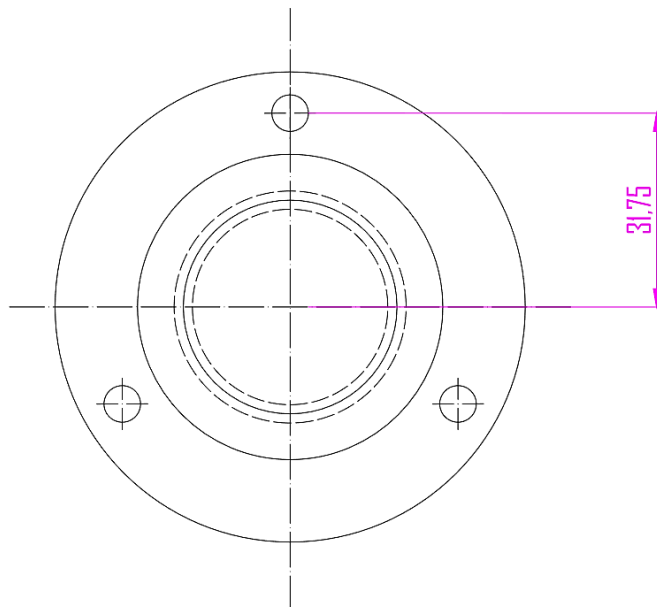


Figura 70. Agujeros para pernos.

Los pernos deben diseñarse para soportar aplastamiento y esfuerzo cortante, por lo que es necesario determinar la fuerza que se ejerce sobre los mismos. El torque a considerar en los

pernos es el generado por el motor, en el caso de que se dañen los rodamientos, la fuerza sobre los tornillos se define por la **ecuación (66)**.

$$T = F * r \quad (66)$$

Despejando la fuerza y remplazando los valores se tiene:

$$F = \frac{T}{r} = \frac{27,1899\text{Nm}}{0,03175\text{m}} = 856,3748 \text{ N}$$

Debido a que se ubican tres tornillos, la fuerza a resistir se divide para cada uno.

$$F_{\text{perno}} = \frac{856,3748 \text{ N}}{3} = 285,4582 \text{ N}$$

El esfuerzo de aplastamiento y cortante en un perno se determina por la **ecuación(8)**, en donde únicamente varía la sección o área en donde se aplica. Primero se determina el diámetro mínimo a considerarse para soportar el esfuerzo cortante, despejando de la ecuación se tiene:

$$d_{\text{perno}} = \sqrt{\frac{8F\eta}{\pi S_y}}$$

$$d_{\text{perno}} = \sqrt{\frac{8 * (285,4582 \text{ N}) * 1,2}{\pi(220\text{MPa})}} = 0,001991 \text{ m} = 1,991 \text{ mm}$$

Se escogen pernos de 6mm.

Ahora se realiza un análisis para determinar la altura del perno para que soporte las cargas en aplastamiento, para ello se utiliza la **ecuación (9)** y se despeja la altura (h).

$$h = \frac{2P\eta}{S_y d}$$

$$h = \frac{2 * (285,4582 \text{ N}) * 1,2}{520\text{MPa} * 0,006\text{m}} = 0,00055\text{m}$$

La altura calculada del perno es muy pequeña, se escoge 30mm.

6.2.23. Diseño del sistema hidráulico

Se debe garantizar la recirculación de agua dentro del fermentador, este debe ser de ciclo cerrado para mejorar la eficiencia y reducir el consumo de agua.

En la **Figura 71** se indica un gráfico del sistema hidráulico.

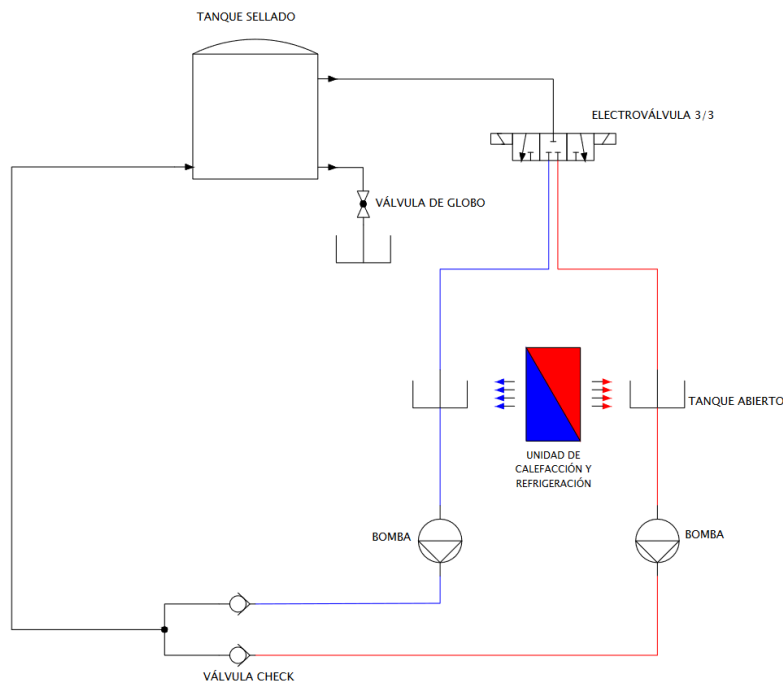


Figura 71. Esquema hidráulico para el sistema de refrigeración.

Fuente: (Autor)

El fermentador de café presenta dos vías de salida y una de entrada para el agua, una vía de salida se dirige a la electroválvula de tres vías y tres posiciones, la primera posición se establece cuando no tiene señal de corriente eléctrica, en esta posición se encuentra cerrada, en la segunda posición se energiza una bobina y permite el paso del agua al estanque de agua fría, en la tercera posición se energiza la bobina y permite el paso del agua al estanque de agua caliente.

A la salida de cada estanque se ubica una bomba hidráulica que impulsa el agua hasta el fermentador con la ayuda de dos bombas hidráulicas independientes y dos válvulas check que evitan al flujo regresar por gravedad hacia los tanques de calefacción y refrigeración de agua cuando las bombas no están funcionando.

La electroválvula utilizada para distribuir el agua a los estanques se indica en la **Figura 72**, funciona a 120V y 60Hz.



Figura 72. Electroválvula.

Las bombas que se usan para impulsar el agua hasta el fermentador, son bombas de lavadora, estas se escogen ya que no existen bombas hidráulicas de bajos caudales y presión en el mercado, además cumplen con la altura que debe ser elevada el agua (1m), obsérvese **Figura 73**.



Figura 73. Bomba Drain Pump Mabe.

Las características de la bomba hidráulica se muestran en la **Tabla 22**.

Tabla 22.

Características de la bomba usada

| | |
|------------|----------|
| Voltaje | 120-127V |
| Potencia | 85W |
| Altura | 1,5m |
| Caudal | 45L/min |
| Frecuencia | 60Hz |

Fuente: (Autor)

Las válvulas check utilizadas se indican en la **Figura 74**, son de paletas, estas se escogen debido a que presentan muy poca resistencia al paso del agua.



Figura 74. Válvula check de paleta de ½ pulgada.

6.2.24. Dimensionamiento del sistema de recirculación del agua

Debe garantizarse la recirculación del agua dentro del sistema planteado en la **Figura 71** para mejorar la eficiencia y reducir el gasto de agua, la manguera que se utiliza para conducir el agua es de ½ pulgada.

Para dimensionar el depósito que debe almacenar el agua, enfriarla y calentarla es necesario conocer la cantidad de volumen que requiere el fermentador para funcionar correctamente, calculando el volumen de la camisa donde circula el agua.

$$V_{H_2O} = \left(\frac{\pi((0,24m)^2 - (0,2m)^2)}{4} + 2 * 0,02m * 0,144m \right) * 0,4m = 0,006681 m^3$$

Transformando a litros:

$$V_{H_2O} = 6,681 L$$

Como se tiene un recipiente para agua fría y otro para agua caliente, se divide el volumen de agua para dos:

$$V_{H_2O} = \frac{6,681 L}{2} = 3,3405 L$$

Se obtiene un valor cercano a un galón, por lo que se utiliza recipientes con capacidad de un galón (3,78 L).

6.2.25. Diseño del sistema de control

El sistema de control debe contener dispositivos de protección para los equipos, un controlador que procese la información, un sensor que para sensar, actuadores como relés, un temporizador para poder establecer tiempos de fermentado, electroválvulas para dirigir el flujo de agua y luces piloto para indicar los procesos que se están ejecutando. En la **Figura 75** se indica el diagrama eléctrico del fermentador.

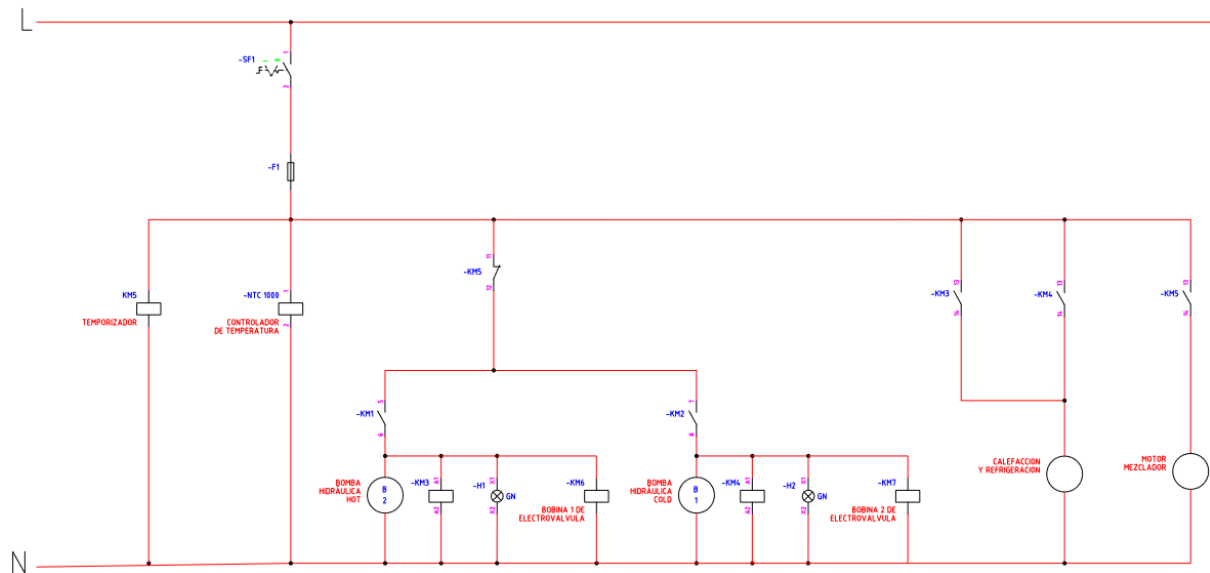


Figura 75. Diagrama eléctrico del fermentador.

Fuente: (Autor)

Se utiliza cable TTU calibre No. 14 (2,1mm²) que soporta 20 A según Centelsa (s.f.).

Para iniciar la configuración del tiempo de fermentación y temperatura, primeramente se debe dar paso a la corriente eléctrica cambiando de posición el selector de perilla (S1), esto energiza al temporizador y al controlador de temperatura, luego se debe configurar el temporizador para establecer los tiempos en los que se desea realizar el mezclado del café, el temporizador encenderá y apagará el motor de mezclado en base a los tiempos que el usuario establezca, después se configura la temperatura a la que se desea fermentar el café, el controlador de temperatura es automático y encenderá o apagará las bombas y las electroválvulas mediante los contactos KM1 y KM2 para abastecer de agua fría o caliente al depósito. Por último, el encendido y apagado del sistema de calefacción/refrigeración se realiza por medio de dos contactos normalmente abiertos KM3 y KM4 que pertenecen a un par de relés.

6.2.25.1. Selección del microcontrolador

Para procesar las señales de temperatura se utiliza el microcontrolador STC-1000 digital de temperatura, este se muestra en la **Figura 76**.



Figura 76. Controlador de temperatura STC-1000.

Fuente: (Autor)

El controlador de temperatura STC-1000 es un dispositivo pequeño y versátil, ya que dispone de un sensor y además presenta dos contactos normalmente abiertos que se enclavan para encender o apagar un equipo, sus características se indican en la **Tabla 23**.

Tabla 23.

Características de controlador de temperatura STC-1000.

| | |
|------------------------------------|---------------------------------------|
| Alimentación | 110 – 220V |
| Rango de medición de temperatura | -50 a 99°C |
| Resolución | 0,1°C |
| Temperatura de operación | 0 a 60°C |
| Humedad de trabajo | 20 a 85% (sin condensación) |
| Exactitud | ±1°C |
| Sensor | NTC |
| Contacto relé | 10A / 110-220V |
| Protección ambiental panel frontal | IP65 |
| Display | 3 dígitos – 7segmentos, indicador LED |

Fuente: (lmindustrial, s.f.)

El sensor de temperatura que viene en el controlador STC-1000 es de tipo NTC (Negative Temperature Coefficient) y puede medir de -50 a 99°C, los contactos de relé que presenta pueden soportar hasta 10A a 220V y el valor de protección contra intrusiones y humedad es IP65, es decir, es un dispositivo que está protegido herméticamente contra el polvo y contra chorros de agua de baja presión. En la **Figura 77** se indica el diagrama de conexión del controlador.

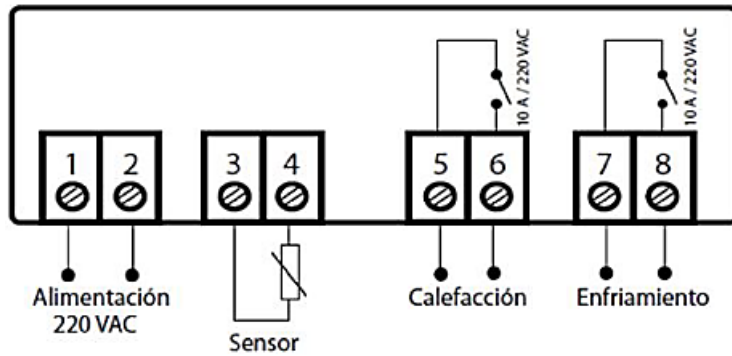


Figura 77. Diagrama de conexión del controlador STC-1000.

Fuente: (lmindustrial, s.f.)

6.2.25.2. Selección del sistema de calefacción y refrigeración

En la **sección 6.2.10** se determinó la potencia necesaria para enfriar el agua hasta 15 grados, entonces transformándola a BTU/h se tienen $1202,23 \frac{\text{BTU}}{\text{h}}$. El dispositivo de refrigeración a usarse es una torre de refrigeración, este se muestra en la **Figura 78**.



Figura 78. Torre de refrigeración.

El dispositivo se puede utilizar para enfriar y calentar, ya que extrae calor del condensador y frío del evaporador. Las características de la torre de refrigeración y calentamiento se indican en la **Tabla 24**.

Tabla 24.

Características de torre de refrigeración y calefacción.

| | |
|------------------------------|------|
| Temperatura de aire caliente | 32° |
| Temperatura de aire frío | 2° |
| Voltaje | 110V |
| Frecuencia | 60Hz |

Fuente: (Autor)

Dado que no presenta una placa de características con tiempo de refrigeración y potencia, se realizaron mediciones de su funcionamiento enfriando y calentado un galón de agua durante 10 minutos, los resultados se indican en la **Tabla 25**.

Tabla 25.

Características medidas al enfriar y calentar un galón de agua

| | |
|---------------------------------|-------|
| Temperatura ambiente del agua | 23 °C |
| Temperatura al enfriar el agua | 2°C |
| Temperatura al calentar el agua | 27 °C |

Fuente: (Autor)

1.1.1.1 Selección de los relés

Se utilizan dos relés Camsco de 8 pines para energizar la torre de calefacción, este se indica en la **Figura 79**.



Figura 79. Relé Camsco de 8 pines.

6.2.25.3. Selección del temporizador

El temporizador a utilizar para el control del mezclado y fermentado del café es el DHC15A, este se muestra en la **Figura 80**.



Figura 80. Temporizador semanal DHC15A.

Fuente: (Autor)

Las características del temporizador se indican en la **Tabla 26**.

Tabla 26.

Características del temporizador.

| | |
|--------------|-----------------------------------------|
| Error | <1s por día |
| Usos | Oficinas, letreros, luces, sirenas, etc |
| Alimentación | 100 – 240Vac |
| Programas | 16 |
| Salida | 1 relay 16A |

Fuente: (Dielecom, s.f.)

6.2.26. Diseño del bastidor

La estructura donde se ubica el fermentador debe presentar una zona para ubicar el depósito, el sistema hidráulico y el sistema eléctrico.

El bastidor tiene que permitir que el depósito gire para realizar la descarga y además debe asegurarlo cuando se desarrolle el mezclado. Existen máquinas mezcladoras de carne con sistemas de mezclado análogos al diseñado para el fermentador, obsérvese la **Figura 81**.



Figura 81. Mezcladora de carne de 25kg.

Fuente: (Boxa, 2021)

Analizando la **Figura 81** se realiza un diseño similar, pero incluyendo modificaciones para adaptarlo al fermentador y poder incluir áreas para el sistema hidráulico, de refrigeración y control, mírese la **Figura 82**.

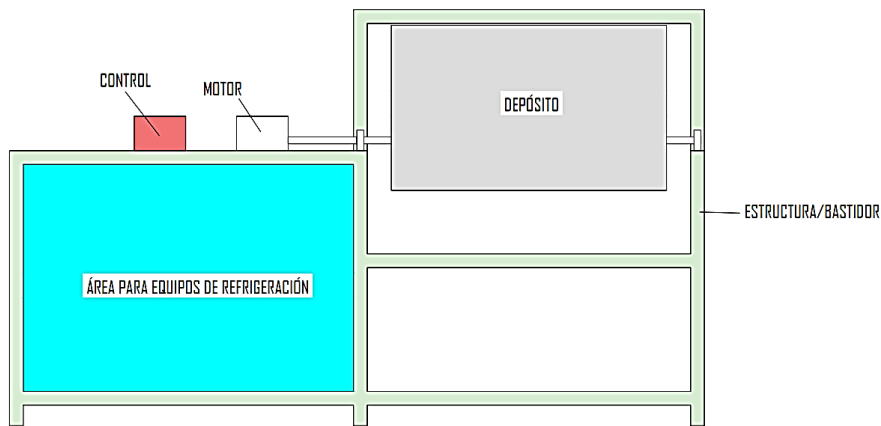


Figura 82. Propuesta de bastidores.

Después de determinar algunas características del diseño de la estructura del fermentador se procede a realizar un prediseño en SolidWorks, este se indica en la **Figura 83**, cabe indicar que no se realiza un diseño por resistencia, esto se debe a que el torque y peso del depósito es muy bajo.

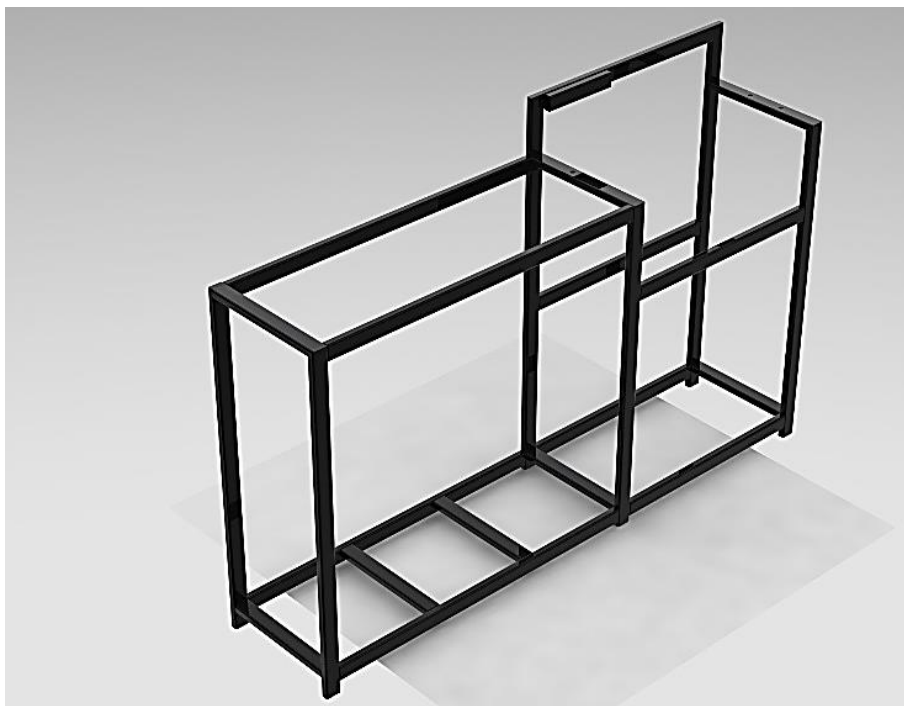


Figura 83. Bastidores para el fermentador.

Fuente: (Autor)

Se escoge un perfil de tubo rectangular para tener robustez y estética en el diseño.

En la **Figura 84** se indican las dimensiones de la estructura que contiene los elementos.

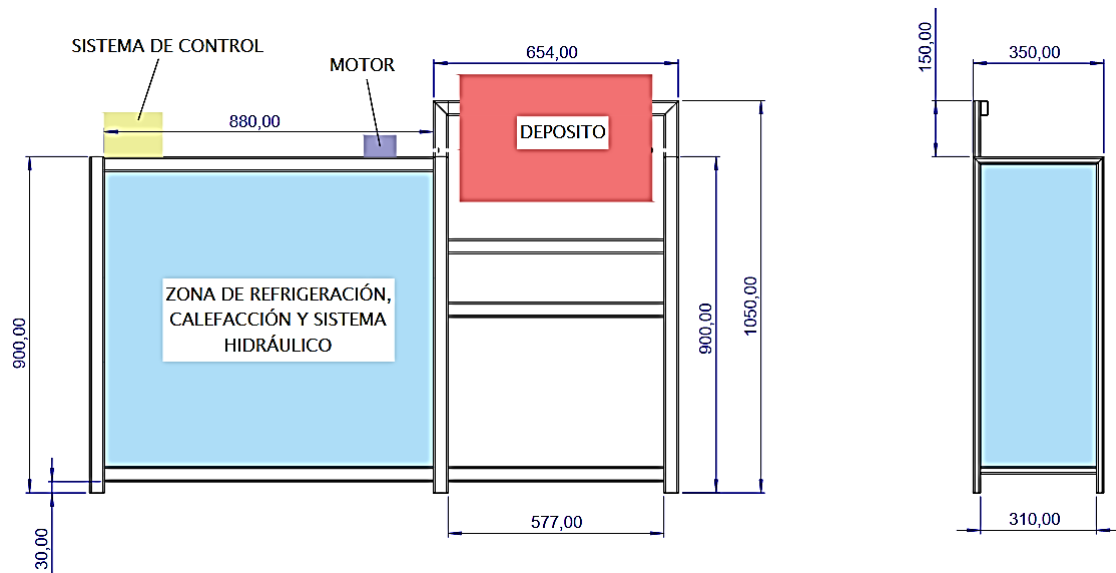


Figura 84. Medidas y distribución de la estructura para el fermentador.

Fuente: (Autor)

Además, se utiliza plancha de acero galvanizado para cubrir los dispositivos que van dentro del bastidor como es el sistema hidráulico y las conexiones del sistema de control, el espesor de la plancha es de 1/20". En la **Figura 85** se muestra las zonas a cubrir.

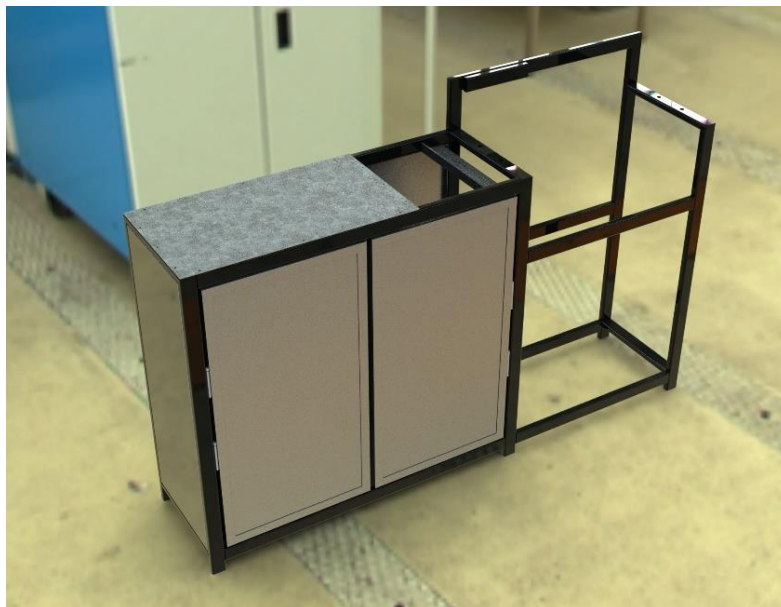


Figura 85. Bastidor cubierto con plancha de acero galvanizado.

Fuente: (Autor)

6.3. Procesamiento y análisis del objetivo 3

6.3.1. Construcción

En esta sección se indica el proceso de construcción de las piezas más importantes del fermentador junto con el sistema de control, obsérvese de la **Figura 86** a la **Figura 99**.



Figura 86. Planchas de acero ANSI 430 cortadas.

Fuente: (Autor)



Figura 87. Plancha interna del depósito.

Fuente: (Autor)



Figura 88. Proceso de rolado de planchas del depósito.

Fuente: (Autor)



Figura 89. Planchas del depósito roladas.

Fuente: (Autor)



Figura 90. Piezas para construir el desmucilagador.

Fuente: (Autor)



Figura 91. Cubierta frontal/trasera del depósito.

Fuente: (Autor)



Figura 92. Proceso de ensamble del depósito.

Fuente: (Autor)



Figura 93. Mezclador de cintas helicoidales.

Fuente: (Autor)



Figura 94. Depósito ensamblado.

Fuente: (Autor)



Figura 95. Construcción del bastidor.

Fuente: (Autor)



Figura 96. Ensamble de los bastidores.

Fuente: (Autor)



Figura 97. Conexión del sistema hidráulico.

Fuente: (Autor)



Figura 98. Conexión de tablero de control para el fermentador.

Fuente: (Autor)



Figura 99. Tablero de control.

Fuente: (Autor)



Figura 100. Fermentador completo.

Fuente: (Autor)

Para el proceso de soldadura del depósito se utilizó suelda tipo TIG, MIG y de carbón, esto se debe a que el espesor de la plancha es de 1mm, mientras que para soldar los bastidores se utiliza la suelda por electrodo 6011.

6.3.2. Pruebas de funcionamiento

Para realizar las pruebas de funcionamiento se utiliza café despulpado. Se procede de la siguiente forma:

- Pesar 22lb de café despulpado.
- Ubicar el café despulpado dentro del depósito del fermentador.
- Llenar de agua los recipientes externos de agua y cebar las bombas.

- Establecer la temperatura a la que se desea realizar la fermentación mediante el controlador STC1000.
- Establecer los periodos de mezclado mediante el temporizador semanal, se recomienda ubicar la remoción al inicio y final de la fermentación.

Utilizando las equivalencias del café de la **Tabla 1** se puede estimar la cantidad de café en cereza necesaria para realizar tres pruebas de funcionamiento en el fermentador, se conoce que se necesitan 66lb de café despulpado, ya que en cada prueba se utilizan 22lb, realizando el cálculo:

$$m_{\text{cafe cereza}} = \frac{66\text{lb}}{0,55} = 120\text{lb}$$

Se pesa el café en varios grupos, esto debido a que la balanza tiene 10kg como capacidad máxima, el peso del recipiente que se utiliza es de 1lb, por lo que se pesa en 4 grupos de 5lb y uno de 2lb para que en total se tengan 22 lb, mírese la **Figura 101**.



Figura 101. Peso del café despulpado en grupos.

Fuente: (Autor)

Después, se procede a cargar el depósito con las 22lb de café y se mide la altura que queda libre, se realizó el cálculo para que queden 7cm, en la figura se observa que al ubicar las 22lb de café en el depósito se tiene un espacio vacío de 5,5cm, obsérvese la **Figura 102**.



Figura 102. Medición de espacio libre de café despulpado

Fuente: (Autor)

En la **Figura 103**, **Figura 104** y **Figura 105** se indica de forma gráfica los resultados de las pruebas de funcionamiento, la línea naranja indica la temperatura ambiente, la azul la temperatura censada del café y la gris hace referencia a la consigna.

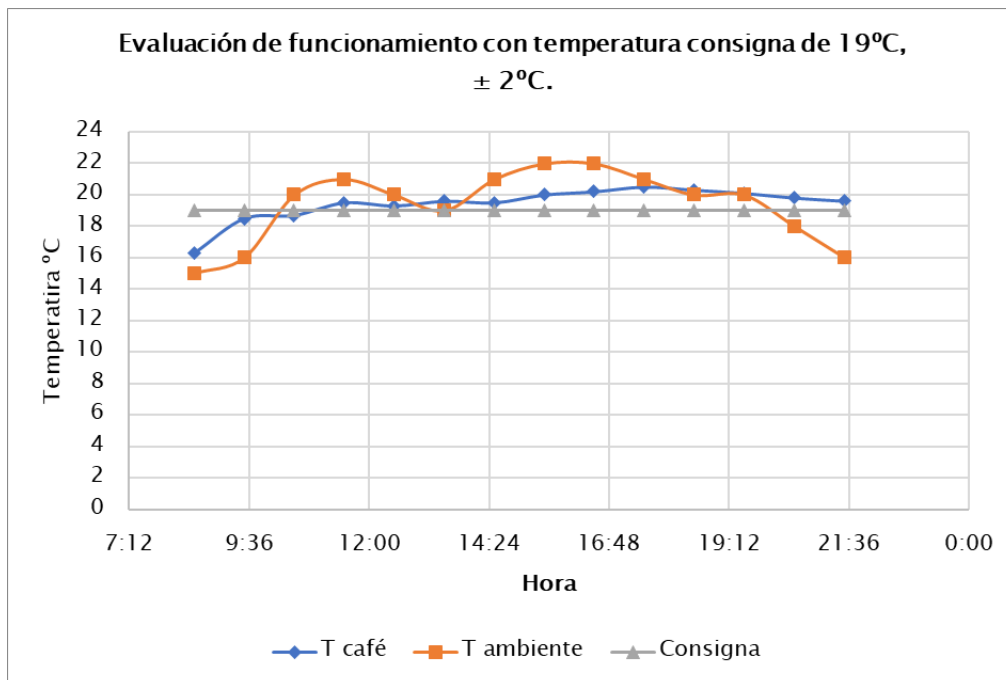


Figura 103. Gráfica de prueba de funcionamiento número 1.

Fuente: (Autor)

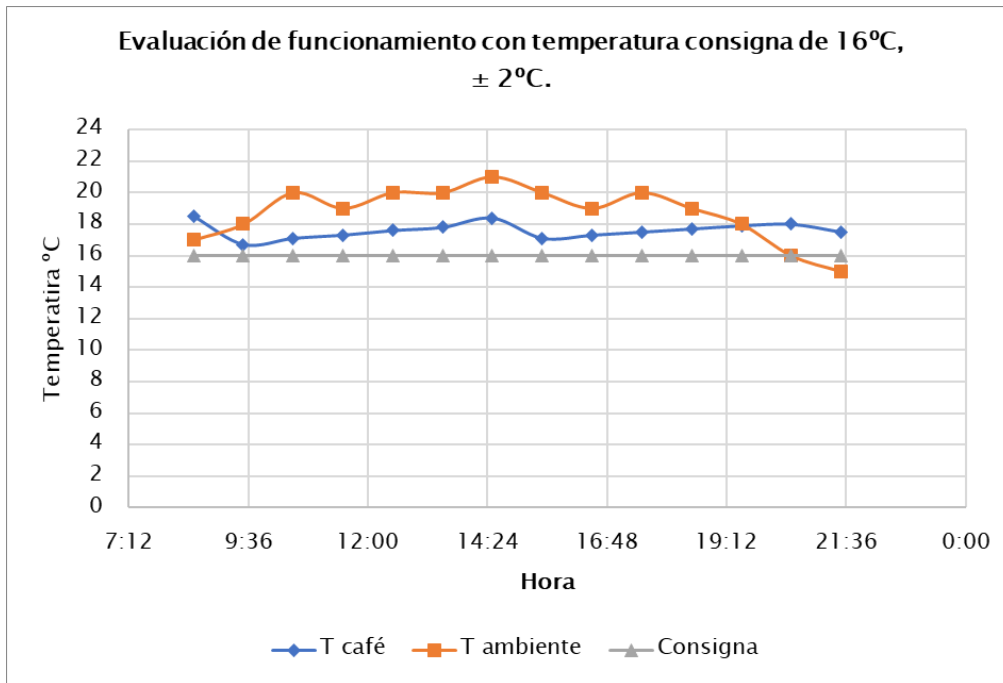


Figura 104. Gráfica de prueba de funcionamiento número 2.

Fuente: (Autor)

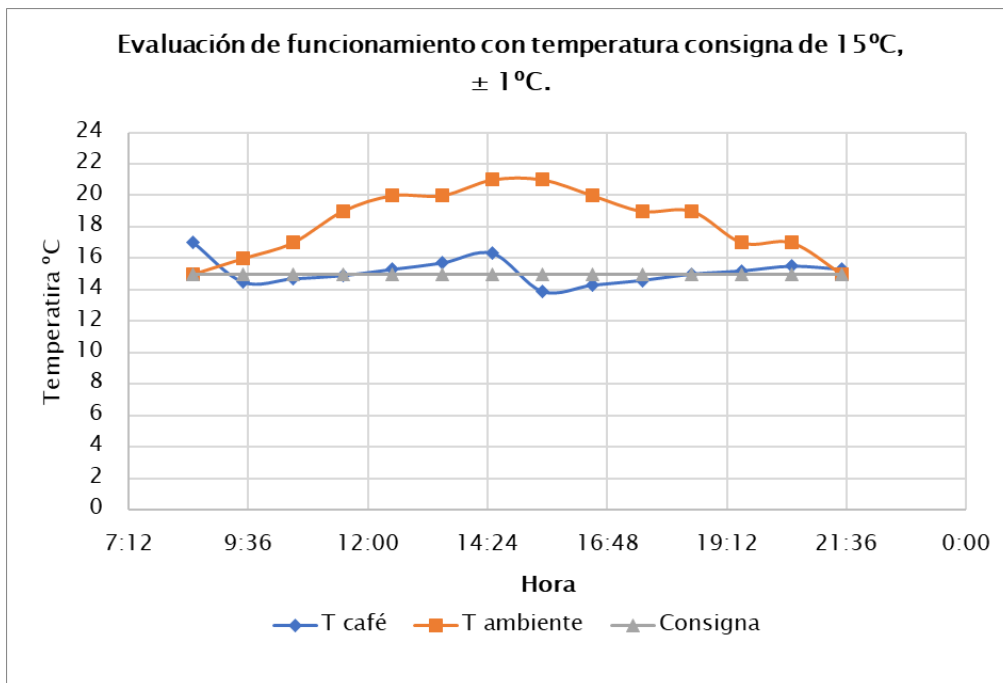


Figura 105. Gráfica de prueba de funcionamiento número 3.

Fuente: (Autor)

Por último, se programa el controlador de temperatura STC1000 y el temporizador semanal. En la **Tabla 27** se indican los parámetros programados y los resultados obtenidos, se realizaron tres pruebas de funcionamiento con programaciones diferentes.

Tabla 27.*Evaluaciones de funcionamiento.*

| | | | | | | | | | | | | | | | |
|---------------------|---------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| PRUEBA 1 19°C ±2 | Hora | 08:30 | 09:30 | 10:30 | 11:30 | 12:30 | 13:30 | 14:30 | 15:30 | 16:30 | 17:30 | 18:30 | 19:30 | 20:30 | 21:30 |
| | Temperatura café (°C) | 16,3 | 18,5 | 18,7 | 19,5 | 19,3 | 19,6 | 19,5 | 20 | 20,2 | 20,5 | 20,3 | 20,1 | 19,8 | 19,6 |
| | Temperatura ambiente (°C) | 15 | 16 | 20 | 21 | 20 | 19 | 21 | 22 | 22 | 21 | 20 | 20 | 18 | 16 |
| PRUEBA 2 16°C ±2 | Hora | 08:30 | 09:30 | 10:30 | 11:30 | 12:30 | 13:30 | 14:30 | 15:30 | 16:30 | 17:30 | 18:30 | 19:30 | 20:30 | 21:30 |
| | Temperatura café (°C) | 18,5 | 16,7 | 17,1 | 17,3 | 17,6 | 17,8 | 18,4 | 17,1 | 17,3 | 17,5 | 17,7 | 17,9 | 18 | 17,5 |
| | Temperatura ambiente (°C) | 17 | 18 | 20 | 19 | 20 | 20 | 21 | 20 | 19 | 20 | 19 | 18 | 16 | 15 |
| PRUEBA 3 15°C ±1 | Hora | 8:30 | 9:30 | 10:30 | 11:30 | 12:30 | 13:30 | 14:30 | 15:30 | 16:30 | 17:30 | 18:30 | 19:30 | 20:30 | 21:30 |
| | Temperatura café (°C) | 17 | 14,5 | 14,7 | 14,9 | 15,3 | 15,7 | 16,3 | 13,9 | 14,3 | 14,6 | 15 | 15,2 | 15,5 | 15,3 |
| | Temperatura ambiente (°C) | 15 | 16 | 17 | 19 | 20 | 20 | 21 | 21 | 20 | 19 | 19 | 17 | 17 | 15 |

Nota. El café se fermenta durante 14 horas, en donde la temperatura ambiente varía según las condiciones específicas de un día, esta no se controla y se obtiene por medio de una app móvil CLIMA.

Fuente: (Autor)

6.3.3. Presupuesto de materiales para construcción

Los materiales y coste de construcción del fermentador se indican en la **Tabla 28**.

Tabla 28.

Desembolso económico.

| Ítem | Descripción | Unidad | Cantidad | PVP (USD) | Importe (USD) |
|-----------------------------------|-----------------------------------------|--------|----------|-----------|---------------|
| Material para construcción | | | | | |
| 1 | Plancha de acero inoxidable ANSI 430 | U | 1 | 82,08 | 82,08 |
| 2 | Ruliman 6003 2RS | U | 2 | 3 | 6 |
| 3 | Reten 18x35x8mm | U | 2 | 2 | 4 |
| 4 | Lana de vidrio | U | 2 | 3,5 | 7 |
| 5 | Estilete | U | 1 | 1,25 | 1,25 |
| 6 | Eje de grilón 3" | cm | 20 | 0,48 | 9,6 |
| 7 | Flexómetro | U | 1 | 5 | 5 |
| 8 | Disco de corte metal | U | 2 | 1,5 | 3 |
| 9 | Eje ¾ in acero inoxidable | m | 0,85 | 3 | 2,55 |
| 10 | Eje 1 ½ in acero inoxidable | m | 0,1 | 5 | 0,5 |
| 11 | Eje 3 ¼ in acero inoxidable | m | 0,1 | 10 | 1 |
| 12 | Plancha de acero galvanizado | U | 1 | 34,8 | 34,8 |
| 13 | Tubo rectangular galvanizado de 40x20mm | U | 3 | 8,1 | 24,3 |
| 14 | Angulo de 25x25mm | U | 1 | 6,5 | 6,5 |
| 15 | Caja de paso 20x20cm | U | 1 | 8,75 | 8,75 |
| 16 | Válvula check de aleta | U | 2 | 10 | 20 |
| 17 | Manguera transparente de ½ in | m | 8 | 0,38 | 3 |
| 18 | Tornillo cabeza de lenteja | U | 25 | 0,046 | 1,15 |
| 19 | Pega tubo adheplast 1/20 | U | 1 | 1,56 | 1,56 |
| 20 | Diluyente | L | 3 | 1,80 | 7,2 |
| 21 | Pintura esmalte gris ¼ | U | 2 | 4,25 | 8,5 |
| 22 | Pintura esmalte negra 1/8 | U | 2 | 1,25 | 2,5 |
| 23 | Codo cachimba ½ in | U | 3 | 1 | 3 |
| 24 | Adaptador de manguera ½ in | U | 8 | 0,25 | 2 |
| 25 | Codo de riego ½ in | U | 2 | 0,8 | 1,6 |
| 26 | Chumacera 5/8 in | U | 2 | 8 | 16 |
| 27 | Cople Flexible | U | 1 | 35 | 35 |
| 28 | Unión en T | U | 1 | 0,75 | 0,75 |
| Material Eléctrico | | | | | |
| 29 | Motor 1/16 hp | U | 1 | 50 | 50 |
| 30 | Controlador de temperatura NTC1000 | U | 1 | 18,50 | 18,50 |
| 31 | Temporizador semanal | U | 1 | | |
| 32 | Torre de calefacción y refrigeración | U | 1 | 100 | 100 |
| 33 | Selector de 2 posiciones | U | 1 | 2,50 | 2,50 |
| 34 | Luz piloto roja de 22mm | U | 1 | 1,80 | 1,80 |
| 35 | Luz piloto naranja y amarilla de 16mm | U | 2 | 0,90 | 1,80 |
| 36 | Cable #16 | m | 10 | 0,25 | 2,50 |
| 37 | Electroválvula 3/3 | U | 1 | 13 | 13 |
| 38 | Bomba de lavadora Mabe | U | 2 | 29 | 58 |
| Mano de Obra | | | | | |
| 39 | Mecanizado de ejes | - | - | - | 90 |
| 40 | Alquiler de taller y herramientas | - | - | - | 150 |

| | | | | | |
|--------------|----------------|-----|----|------|------------------|
| 41 | Trabajo diario | Día | 60 | 20 | 1200 |
| 42 | Almuerzos | U | 60 | 2,25 | 135 |
| 43 | Transporte | Día | 60 | 0,6 | 36 |
| TOTAL | | | | | \$2155,93 |

Fuente: (Autor)

7. Discusión

Se identificó que durante la fermentación aerobia las principales variables y factores que afectan son la temperatura, la agitación y aireación, los grados brix, el tiempo y la exposición de la masa; en investigaciones Puerta (2015) y Puerta (2022) identifican que los factores que afectan son el sistema de fermentación, el tiempo, calidad del café en baba, la acidez del sustrato y la disponibilidad del oxígeno e higiene, mientras que Córdoba y Guerrero (2016) determinaron que interviene el tiempo, el pH, la temperatura, el ácido láctico y la glucosa. Esto demuestra que los factores que intervienen en la fermentación del café pueden variar según las variables que se quiere controlar para conseguir un proceso específico.

El sistema de carga y descarga implementado en el fermentador brinda maniobrabilidad y agilidad, ya que para realizar el proceso de carga se abre la compuerta corrediza del depósito y para descargar el café fermentado solo se desacopla el picaporte y gira el depósito.

En cuanto al diseño del depósito, en la sección de resultados se corrobora que las medidas del diseño y la construcción difieren en sus medidas, por lo que los valores de densidad y conversión para el café proporcionados por Montilla et al. (2008) no son fieles a los de la muestra utilizada en el presente trabajo, esto puede deberse a la variedad del café utilizada.

La cantidad de mucílago que se fluidiza en 22lb de café despulpado es casi nula, por lo que se observó que el desmucilagador no es indispensable en el diseño y no es necesario considerar las indicaciones sobre la fluidización del mucílago que proporciona IICA (2004).

En las pruebas de funcionamiento se logró identificar que el fermentador regula la temperatura en base a la programación que establece el usuario, manteniéndose en el rango; sin embargo, en trabajos similares, como el de Carbajal et al., (2022), se identifica que en las pruebas de funcionamiento no se controla de forma correcta la temperatura de la masa de café. Esto demuestra que el diseño del depósito con forma semicircular y doble camisa tiene ventajas en cuanto a funcionamiento.

Al realizar una comparación con los fermentadores tradicionales utilizados por los caficultores, se puede identificar que el prototipo construido es capaz de establecer un rango de temperaturas para fermentaciones controladas que se pueden replicar, mientras que con los fermentadores tradicionales resulta tedioso realizar fermentaciones con temperaturas controladas debido a que se suelen generar picos por el día y noche respectivamente.

8. Conclusiones

- Mediante la revisión de artículos científicos e informes dedicadas al estudio del café como “Propiedades Físicas y propiedades de conversión del café en el proceso de beneficio” de (Montilla et al., 2008), “Factores procesos y controles en la fermentación del café” de (Puerta, 2012), “Buenas prácticas para la prevención de los defectos de la calidad del café: fermento, reposado, fenólico y mohoso” de (Puerta, 2015) y “Fermentación controlada del café: Tecnología agregar valor a la calidad” de (Puerta y Echeverry, 2015) se pudo identificar las variables y parámetros que intervienen durante la fermentación del café, tales como temperatura, tiempo, densidad, tamaño del grano, grados brix, aireación y exposición de la masa de café, entre estos se identifica que las de mayor relevancia son el tiempo, la frecuencia de agitación y la temperatura.
- Considerando las variables e información recopilada sobre el café, se diseñó los componentes mecánicos y sistemas tanto de control como de calefacción y refrigeración, entre los componentes mecánicos diseñados se ubican el mezclador helicoidal de doble hélice, el depósito de doble camisa, el eje desmontable y el bastidor, obteniéndose un espesor de plancha de acero inoxidable ANSI 430 de 1mm, un diámetro del eje de 5/8 de pulgada de acero inoxidable, un tubo y una plancha de acero galvanizado rectangular de 40x20mm y 1/20” respectivamente para el diseño del bastidor; para el diseño del sistema de control se optó por usar un selector de dos posiciones, luces piloto para indicar los procesos que se ejecutan, dos relés de 8 pines, un temporizador, un controlador de temperatura STC1000, cable TTU para las conexiones y una caja plástica de 200x200x80mm para contener toda la aparamenta; para el sistema de calefacción y refrigeración se utilizó una torre de refrigeración/calefacción, dos bombas centrífugas, una electroválvula 3/3, dos válvulas check de aleta y manguera de nivel de ½ pulgada para realizar las conexiones.
- La máquina se construyó exitosamente cumpliendo con el propósito de fermentar café, al realizar las pruebas con 22lb de café despulpado se logró identificar que en la prueba 1 a 19°C ± 2 se obtuvieron temperaturas máximas y mínimas de 20,5°C y 16,3°C, en la prueba 2 a 16°C ± 2 se obtuvieron temperaturas máximas y mínimas de 18,5°C y 16,7°C, en la prueba 3 a 15°C ± 1 se obtuvieron temperaturas máximas y mínimas de 17°C y 13,9°C. Por último, se verificó que los sistemas de carga, descarga, calefacción, refrigeración, recirculación de agua y desmucilaginado funcionan según lo planificado en el diseño, por lo que se concluye con la validación del diseño de los componentes y funcionamiento.

9. Recomendaciones

- Mejorar el sistema de mezclado del fermentador, se recomienda indagar información acerca de sistemas y mecanismos alternativos en los que además de girar el mezclador también gire el depósito donde se almacena la masa a fermentar.
- Optimizar el sistema de control de temperatura se puede utilizar sistemas de PLC y otras alternativas que permiten realizar un control más preciso y robusto, con la intención de reducir el rango de error al controlar la temperatura y así obtener procesos más controlados.
- Utilizar dispositivos de refrigeración y calefacción más potentes con la finalidad de disminuir el tiempo necesario para enfriar o calentar el agua de los depósitos externos, así mismo se puede utilizar otro sistema de enfriamiento usando solo aire en vez de agua.
- Reemplazar por otros materiales si se considera oportuno para la construcción del depósito, así como se puede seleccionar espesores de plancha mayores para aumentar la rigidez y disminuir la dificultad del proceso de soldadura, también se debe tener en cuenta que el café es un producto de consumo humano, por lo que la zona donde se almacena debe ser de acero inoxidable ANSI 304, 316 o 430.

10. Bibliografía

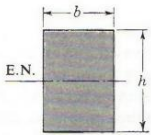
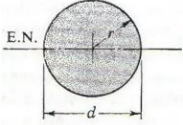
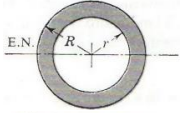
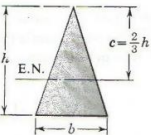
- Álvarez, J. (1991). Despulpado del café sin agua. *Cenicafé*, 6(164), pp. 1-6. <https://n9.cl/ghrj7>.
- Boxa. (2021). Mezcladora de carne 25kg. *Boxa*. <https://n9.cl/9np9f>.
- Budynas, R. y Nisbett J. (2012). *Diseño de ingeniería mecánica de Shigley*. ISBN.
- Carbajal, I., Pilco, H., García, F., Coronel, I., Gonzales, J., Cabanillas, L. (2022). Fermentador inteligente con tecnología de fermentación controlada para estandarizar procesos de fermentación de cafés de especialidad. *Universidad Nacional de San Martín*, 2(1), pp. 1-17. <https://doi.org/10.51252/raa.v2i1.303>.
- Cengel, Y.A. y Ghajar, A.J. (2011). *Transferencia de calor y masa*. McGraw-Hill Companies.
- Centro de investigaciones en café (2018). *Buenas prácticas de beneficiado húmedo del café, fundamentales para mantener la calidad*. <https://n9.cl/j0wpm>.
- Centro Nacional de investigaciones de café (2004). *Beneficio del café 1: Despulpado, remoción del mucílago y lavado*. <https://n9.cl/cgh4yf>.
- Corona Ramírez, L.G., Abarca Jiménez, G.S. y Carreño, J.M. (2014). *Sensores y actuadores: aplicaciones con Arduino*. Patria
- Cleves, R. (1998). *Tecnología en beneficiado de café*. Tica.
- Deutschman, A., Michels, W. y Wilson, C. (1975). *Diseño de máquinas Teoría y Práctica*. ISBN.
- Dielecom. (s.f.). Temporizador semanal DHC15A. *Dielecom*. <https://n9.cl/5ie6f>.
- DIPAC. (s.f.). *Planchas de acero inoxidable*. <https://n9.cl/ucpxd>
- Empresa consultora consulsantos (2010). *Lineamientos a seguir conducentes a un programa de buenas prácticas de manufactura*. <https://n9.cl/zyidy>.
- FAG. (s.f.). *Rodamientos FAG*. <https://n9.cl/yvtne>.
- Faires, V. (s.f.). *Diseño de elementos de máquinas*. SM.
- Federación Nacional de Cafeteros de Colombia (1997). *Sistema de información cafetera*.
- Hamrock, B.J., Jacobson, B.O. y Schmid, S.R. (2000). *Elementos de máquinas*. ISBN.
- Incapto. (2022). *Estos cuatro factores ayudan a identificar y mejorar la madurez de los frutos del café*. Incapto. <https://n9.cl/inrtb>.
- Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. (2010). *Guía técnica para el beneficiado de café protegido bajo una indicación geográfica o denominación de origen*. ISBN.
- Imindustrial. (s.f.). *Controlador de temperatura*. <https://n9.cl/pdjfq>.
- Mendieta, M.A. y Cuenca, J.F., (2021). *Diseño y construcción de una máquina cortadora de envases de vidrio para la producción de vasos a partir de botellas recicladas*. [Tesis de

- grado, Universidad Nacional de Loja]. Repositorio digital.
<https://dspace.unl.edu.ec/jspui/handle/123456789/24472>.
- Mott, R. (2009). *Diseño de elementos de máquinas*. Pearson.
- Mott, R y Untener, J. (2015). *Mecánica de fluidos*. Pearson.
- Ministerio de Agricultura y Gandería. (2022). *Boletín Situacional, Cultivo de Café*.
<https://n9.cl/iey6rg>.
- Myszka, D. (2012). *Máquinas y mecanismos*. Pearson.
- Montilla, J., Arcila, J., Aritizábal, M., Monyota, E., Puerta, G., Oliveros, C. y Cadena, G. (2008). Propiedades Físicas y propiedades de conversión del café en el proceso de beneficio. *Cenicafé*, (370), pp.1-8.
<https://biblioteca.cenicafe.org/bitstream/10778/358/1/avt0370.pdf>
- Norton, R. (s.f.). *Diseño de máquinas*. Pearson.
- Oliveros, C. y Roa, G. (1995). El desmucilaginado mecánico del café. *Cenicafé*, (216), pp. 1-7. <https://n9.cl/u0y77>.
- Oliveros Tascón, C.E., Tibaduiza Viancha, C.A., Montoya Restrepo, E.C, Sanz Uribe, J.R y Ramírez Gómez, C.A. (2014). Tecnología de bajo impacto ambiental para el lavado del café en proceso con fermentación natural. *Cenicafé*, 65(1), pp.44-56.
<https://biblioteca.cenicafe.org/handle/10778/543>.
- Peña Gómez, N., Barrera Bermeo, O. y Gutiérrez Guzmán, N. (2013). Efectos del tiempo de fermentación sobre la calidad en taza del café. *Ingeniería y Región*, 10, pp. 111-116.
<https://journalusco.edu.co/index.php/iregion/article/view/762>.
- Peñuela Martínez, A.E., Sanz Uribe, J.R. y Pabón-Usaquén, J.P. (2014). Método para identificar el momento final de la fermentación de mucílago de café. *Cenicafé*, 63(1), pp. 120-131.
<https://biblioteca.cenicafe.org/handle/10778/517>.
- Puerta, I. y Ríos, S. (2011). Composición química del mucílago de café, según el tiempo de fermentación y refrigeración. *Cenicafé*, 62(2), pp.23-40. <https://n9.cl/ws71q>.
- Puerta, G. (1999). Influencia del proceso de beneficio en la calidad del café. *Cenicafé*, 50(1), pp. 78-88. <https://biblioteca.cenicafe.org/handle/10778/58>.
- Puerta, G. (2008). Riesgos para la calidad y la inocuidad del café en el secado. *Cenicafé*, 8(371), pp. 1-8. <https://biblioteca.cenicafe.org/handle/10778/399>.
- Puerta, G. (2012). Factores procesos y controles en la fermentación del café. *Cenicafé*, 12(422), pp. 1-12. <https://biblioteca.cenicafe.org/handle/10778/327?mode=full>.

- Puerta, I. (2015). Buenas prácticas para la prevención de los defectos de la calidad del café: fermento, reposado, fenólico y mohoso. *Cenicafé*, (461), pp. 1-12. <https://www.cenicafe.org/es/publications/avt0461.pdf>.
- Puerta, G. (2010). Fundamentos del proceso de fermentación en el beneficio del café. *Cenicafé*, (402), pp. 1-12. <https://n9.cl/x4grl>.
- Puerta, G. y Echeverry, J. (2015). Fermentación controlada del café: Tecnología agregar valor a la calidad. *Cenicafé*, (454), pp. 1-12. <https://n9.cl/hog3h>.
- Puerta, G. (2000). Beneficie correctamente su café y conserve la calidad de la bebida. *Cenicafé*, (276), pp. 1-8. <https://n9.cl/tjwdg>.
- Pytel, A. y Singer F.L. (1987). *Resistencia de materiales*. ISBN.
- Roa M., G., Oliveros T., E., Álvarez G., J., Ramírez G., C.A., Sanz U., J.R., Dávila A., M.T., Álvarez H., J.R., Zambrano F., F.A., Puerta Q., G.I., Rodríguez V., N. (1999). *Beneficio ecológico del café*. ISBN.
- Rodríguez Valencia, N., Sanz Uribe, J.R., Oliveros Tascón, C.E. y Ramírez Gómez, C.A. (2015). Beneficio del café en Colombia. *Cenicafé*, pp. 152-172. <https://n9.cl/2kcw4>.
- Rosales, J. (2014). *Motores eléctricos para a industria*. [Presentación de PowerPoint]. Universidad San Martín. <https://n9.cl/8rhzn>.
- Servicio Nacional de Aprendizaje (2004). *Recolección del café: "Recolectar el fruto en el grado oportuno de maduración con criterios de calidad, eficiencia, eficacia y minimizando las pérdidas"*. <https://n9.cl/7qnep>.
- Serway, R.A., y Vuille, C. (2012). *Fundamentos de física*. ISBN.
- Sprocket, M. (2013). *El gran catalogo 4000, sección H*. <https://n9.cl/mf1gf>.
- Trejos R., R., Roa M., G. y Oliveros T., C.E. (1989). Humedad de equilibrio y calor latente de vaporización del café pergamino y del café verde. *Cenicafé*, 40(1), pp.5-15.
- Universidad Nacional Agraria la Molina (2013). *Asistencia técnica dirigida en "cosecha y postcosecha en el cultivo del café"*. <https://n9.cl/h6yxp>.
- Vallejo Tumbaco, W.O. (2017), *Diseño de una mezcladora de productos sólidos en polvo*. (Tesis de grado, Universidad Superior Politecnica del Litoral). Repositorio Dspace. <http://www.dspace.espol.edu.ec/xmlui/handle/123456789/39028>.
- Zambrano, D. y Isaza, J. (1994). Lavado del café en los tanques de fermentación. *Cenicafé*, 45(3), pp. 106-118. <https://www.cenicafe.org/es/publications/arc045%2803%29106-118.pdf>.

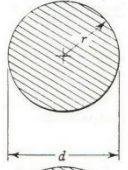
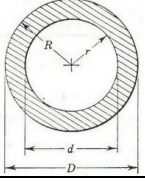
11. Anexos

Anexo 1. Módulos de resistencia de sección transversal de varias formas

| Descripción | Forma | S |
|----------------|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------|
| Rectangular |  | $\frac{bh^2}{6}$ |
| Circular |  | $\frac{\pi d^3}{32}$ |
| Circular hueca |  | $\frac{\pi}{4R}(R^4 - r^4)$ |
| Triangular |  | $\frac{bh^3}{24}$ |

Fuente: (Pytel y Singer, 1987)

Anexo 2. Momentos de inercia según la forma del eje

| Descripción | Forma | J |
|---------------|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|
| Sección llena |  | $\frac{\pi r^4}{2} = \frac{\pi d^4}{32}$ |
| Sección hueca |  | $\frac{\pi}{2}(R^4 - r^4) = \frac{\pi}{32}(D^4 - d^4)$ |

Fuente: (Pytel y Singer, 1987)

Anexo 3. Factor del diámetro del transportador Fd

| Diámetro del Helicoidal (Pulgadas) | Factor Fd |
|------------------------------------|-----------|
| 4 | 12 |
| 6 | 18 |
| 9 | 31 |
| 10 | 37 |
| 12 | 55 |
| 14 | 78 |
| 16 | 106 |
| 18 | 135 |
| 20 | 165 |
| 24 | 235 |
| 30 | 365 |
| 36 | 540 |

Fuente: (Sprocket, 2013)

Anexo 4. Factor del buje para colgante F_b

| Tipo de buje | | Factor de buje colgante F_b |
|---------------------|------------------------------|-------------------------------------------------|
| B | Rodamiento de bolas | 1 |
| L | Martin Bronce | - |
| | Bronce Grafitado | |
| | Bronce, Impregnado en Aceite | |
| | Madera, Impregnado en Aceite | |
| | Nylatron | |
| S | Nylon | 2 |
| | Teflón | |
| | UHMW | |
| | Melamine (MCB) | |
| | Ertalyte® Quadrent | |
| | Uretano | |
| | Hierro Endurecido | 3.4 |
| | Superficie Endurecida | |
| H | Stellite | 4.4 |
| | Cerámico | |
| | Aleación de Hierro Blanco | |

Fuente: (Sprocket, 2013)

Anexo 5. Factor por porcentaje F_f de carga de transportador

| Tipo de helicoidal | Factor por porcentaje de carga de transportador F_f | | | |
|---------------------------|-------------------------------------------------------------------------|-------------|-------------|-------------|
| | 15 % | 30 % | 45 % | 95 % |
| Estándar | 1 | 1 | 1 | 1 |
| Helicoidal con Corte | 1.1 | 1.15 | 1.2 | 1.3 |
| Con Corte y Doblez | No se recomienda | 1.5 | 1.7 | 2.2 |
| Helicoidal de Listón | 1.05 | 1.14 | 1.2 | - |

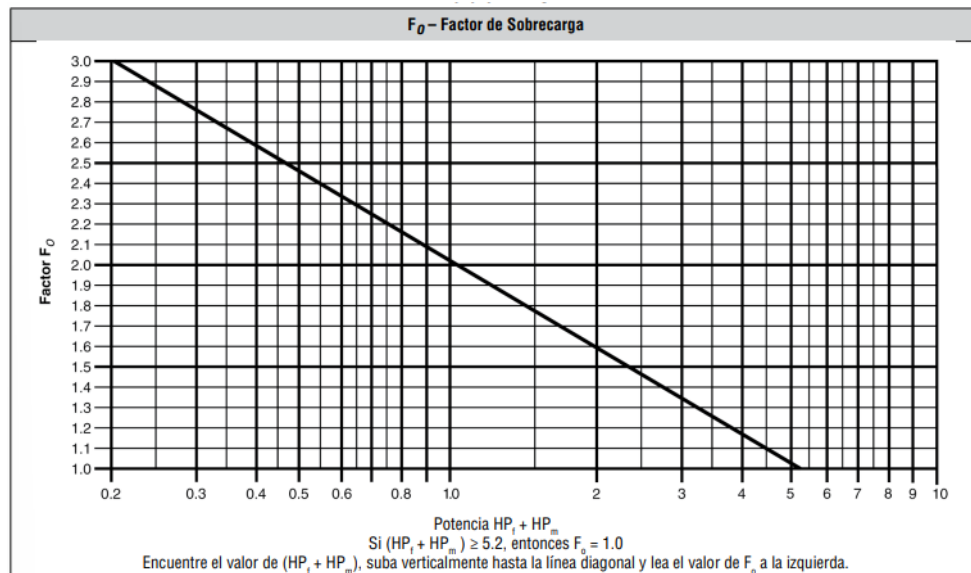
Fuente: (Sprocket, 2013)

Anexo 6. Factor de paleta F_p

| Paletas estándar por paso, paletas ajustadas a 45° paso invertido | | | | | |
|--------------------------------------------------------------------------|----------|----------|----------|----------|----------|
| Numero de paletas por paso | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 |
| Factor de paleta F_p | 1 | 1.29 | 1.58 | 1.87 | 2.16 |

Fuente: (Sprocket, 2013)

Anexo 7. Factor de sobrecarga F_0



Fuente: (Sprocket, 2013)

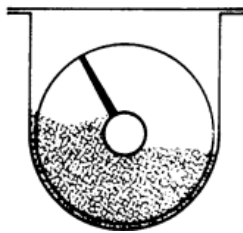
Anexo 8. Factor de eficiencia e de las transmisiones

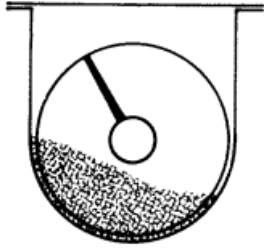
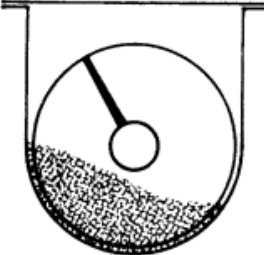
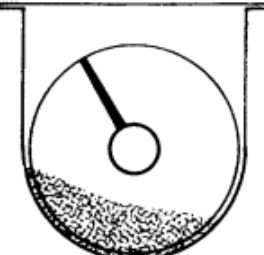
| Transmisión para Transportador Helicoidal o Montado en Eje con Transmisión de Bandas en "V" | Reductor de Engranés Helicoidales con Transmisión de Bandas en V y Cople | Motorreductor con Cople | Motorreductor con Transmisión de Cadena | Corona Sinfin |
|---------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------|-------------------------|-----------------------------------------|-------------------|
| 0.88 | 0.87 | 0.95 | 0.87 | Consulte a Martin |

Fuente: (Sprocket, 2013)

Anexo 9. Capacidad para transportadores helicoidales horizontales.

| Carga de artesa | Diámetro del helicoidal (pulgadas) | Capacidad pies cúbicos por hora (paso completo) | | Max. RPM |
|-----------------|------------------------------------|-------------------------------------------------|------------|----------|
| | | A 1 RPM | A Max. RPM | |
| 45 % | 4 | 0.62 | 114 | 184 |
| | 6 | 2.23 | 368 | 165 |
| | 9 | 8.2 | 1270 | 155 |
| | 10 | 11.4 | 1710 | 150 |
| | 12 | 19.4 | 2820 | 145 |
| | 14 | 31.2 | 4370 | 140 |
| | 16 | 46.7 | 6060 | 130 |
| | 18 | 67.6 | 8120 | 120 |
| | 20 | 93.7 | 10300 | 110 |
| | 24 | 164 | 16400 | 100 |
| 30 % A | 30 | 323 | 29070 | 90 |
| | 36 | 553.2 | 4142 | 75 |
| | 4 | 0.41 | 53 | 130 |
| | 6 | 1.49 | 180 | 120 |
| | 9 | 5.45 | 545 | 100 |



| | | | | | |
|-----|-------------------------------------------------------------------------------------|----|----------|-------|----|
| |  | 10 | 7.57 | 720 | 95 |
| | | 12 | 12.9 | 1160 | 90 |
| | | 14 | 20.8 | 1770 | 85 |
| | | 16 | 31.2 | 2500 | 80 |
| | | 18 | 45 | 3380 | 75 |
| | | 20 | 62.8 | 4370 | 70 |
| | | 24 | 109 | 7100 | 65 |
| | | 30 | 246 | 12960 | 60 |
| | | 36 | 368.8 | 18400 | 50 |
| | | 4 | 0.41 | 29 | 72 |
| | | 6 | 1.49 | 90 | 60 |
| | | 9 | 5.45 | 300 | 55 |
| |  | 10 | 7.6 | 418 | 55 |
| | | 12 | 12.9 | 645 | 50 |
| 30 | | 14 | 20.8 | 1040 | 50 |
| % B | | 16 | 31.2 | 1400 | 45 |
| | | 18 | 45 | 2025 | 45 |
| | | 20 | 62.8 | 2500 | 40 |
| | | 24 | 109 | 4360 | 40 |
| | | 30 | 246 | 7560 | 35 |
| | | 36 | 368.8 | 11064 | 30 |
| | | 4 | 0.21 | 15 | 72 |
| | | 6 | 0.75 | 45 | 60 |
| | | 9 | 2.72 | 150 | 55 |
| |  | 10 | 3.8 | 210 | 55 |
| 15 | | 12 | 6.4 | 325 | 50 |
| % | | 14 | 10.4 | 520 | 50 |
| | | 16 | 15.6 | 700 | 45 |
| | | 18 | 31.222.5 | 1010 | 45 |
| | | 20 | 54.631.2 | 1250 | 40 |
| | | 24 | 10854.6 | 2180 | 40 |
| | | 30 | 184.4108 | 3780 | 35 |
| | | 36 | 184.4 | 5537 | 30 |

Fuente: (Sprocket, 2013)

Anexo 10. Factores radiales y axiales de los rodamientos rígidos de bolas

| $\frac{f_0 F_a}{C_0}$ | Juego normal de rodamiento | | | | Juego de rodamiento C3 | | | | Juego de rodamiento C4 | | | | | | |
|-----------------------|----------------------------|--------------------------|---|--------------------------|------------------------|------|--------------------------|---|--------------------------|------|------|--------------------------|---|--------------------------|------|
| | e | $\frac{F_a}{F_r} \leq e$ | | $\frac{F_a}{F_r} \geq e$ | | e | $\frac{F_a}{F_r} \leq e$ | | $\frac{F_a}{F_r} \geq e$ | | e | $\frac{F_a}{F_r} \leq e$ | | $\frac{F_a}{F_r} \geq e$ | |
| | | X | Y | X | Y | | X | Y | X | Y | | X | Y | X | Y |
| 0.3 | 0.22 | X | Y | X | Y | 0.32 | X | Y | X | Y | 0.4 | X | Y | X | Y |
| 0.5 | 0.24 | 1 | 0 | 0.56 | 2 | 0.35 | 1 | 0 | 0.46 | 1.7 | 0.43 | 1 | 0 | 0.44 | 1.4 |
| 0.9 | 0.28 | 1 | 0 | 0.56 | 1.8 | 0.39 | 1 | 0 | 0.46 | 1.56 | 0.45 | 1 | 0 | 0.44 | 1.31 |
| 1.6 | 0.32 | 1 | 0 | 0.56 | 1.58 | 0.43 | 1 | 0 | 0.46 | 1.41 | 0.48 | 1 | 0 | 0.44 | 1.23 |

Fuente: (Sprocket, 2013)

Anexo 11. Factor f_0 para rodamientos rígidos de bolas

| Numero característico | Serie de rodamientos | | | | | | | | |
|-----------------------|----------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | 618 | 160 | 161 | 60 | 62 | 622 | 63 | 623 | 64 |
| 3 | | | | | 12.9 | | | | |
| 4 | | | | | 12.2 | | | | |
| 5 | | | | | 13.2 | | 13.2 | | |
| 6 | | | | | 13 | | 13 | | |
| 7 | | | | 13 | 12.4 | | | | |
| 8 | | | | 12.4 | 13 | | | | |
| 9 | | | | 13 | 12.4 | | | | |
| 00 | | | 12.3 | 12.4 | 12.1 | | | | |
| 01 | | | 13 | 13 | 12.3 | 12.1 | 11.3 | | |
| 02 | | 13.9 | | 13.9 | 13.1 | 12.2 | 11.1 | | |
| 03 | | 14.3 | | | 13.1 | 13.1 | 12.1 | 12.1 | |
| 04 | | 14.9 | | 14.3 | 13.1 | 13.1 | 12.3 | 12.2 | 12.4 |
| 05 | | 15.4 | | 13.9 | 13.8 | 13.1 | 12.4 | 12.1 | 11 |
| | | 15.2 | | | | | 13 | 12.4 | 12.1 |

Fuente: (FAG, s.f)

Anexo 12. Propiedades del agua a diferentes temperaturas

TABLA A-9

Propiedades del agua saturada

| Temp., T °C | Presión de saturación, P_{sat} , kPa | Densidad, ρ kg/m ³ | | Entalpia de vaporización, h_{fg} , kJ/kg | Calor específico, c_p , J/kg · K | | Conductividad térmica, k W/m · K | | Viscosidad dinámica, μ kg/m · s | | Número de Prandtl, Pr | | Coeficiente de expansión volumétrica, β 1/K |
|----------------|-------------------------------------------|---------------------------------------|--------|-----------------------------------------------|---------------------------------------|--------|-------------------------------------|--------|----------------------------------------|------------------------|-----------------------|------|------------------------------------------------------|
| | | Líquido | Vapor | | Líquido | Vapor | Líquido | Vapor | Líquido | Vapor | | | |
| 0.01 | 0.6113 | 999.8 | 0.0048 | 2 501 | 4 217 | 1 854 | 0.561 | 0.0171 | 1.792×10^{-3} | 0.922×10^{-5} | 13.5 | 1.00 | -0.068×10^{-3} |
| 5 | 0.8721 | 999.9 | 0.0068 | 2 490 | 4 205 | 1 857 | 0.571 | 0.0173 | 1.519×10^{-3} | 0.934×10^{-5} | 11.2 | 1.00 | 0.015×10^{-3} |
| 10 | 1.2276 | 999.7 | 0.0094 | 2 478 | 4 194 | 1 862 | 0.580 | 0.0176 | 1.307×10^{-3} | 0.946×10^{-5} | 9.45 | 1.00 | 0.733×10^{-3} |
| 15 | 1.7051 | 999.1 | 0.0128 | 2 466 | 4 185 | 1 863 | 0.589 | 0.0179 | 1.138×10^{-3} | 0.959×10^{-5} | 8.09 | 1.00 | 0.138×10^{-3} |
| 20 | 2.339 | 998.0 | 0.0173 | 2 454 | 4 182 | 1 867 | 0.598 | 0.0182 | 1.002×10^{-3} | 0.973×10^{-5} | 7.01 | 1.00 | 0.195×10^{-3} |
| 25 | 3.169 | 997.0 | 0.0231 | 2 442 | 4 180 | 1 870 | 0.607 | 0.0186 | 0.891×10^{-3} | 0.987×10^{-5} | 6.14 | 1.00 | 0.247×10^{-3} |
| 30 | 4.246 | 996.0 | 0.0304 | 2 431 | 4 178 | 1 875 | 0.615 | 0.0189 | 0.798×10^{-3} | 1.001×10^{-5} | 5.42 | 1.00 | 0.294×10^{-3} |
| 35 | 5.628 | 994.0 | 0.0397 | 2 419 | 4 178 | 1 880 | 0.623 | 0.0192 | 0.720×10^{-3} | 1.016×10^{-5} | 4.83 | 1.00 | 0.337×10^{-3} |
| 40 | 7.384 | 992.1 | 0.0512 | 2 407 | 4 179 | 1 885 | 0.631 | 0.0196 | 0.653×10^{-3} | 1.031×10^{-5} | 4.32 | 1.00 | 0.377×10^{-3} |
| 45 | 9.593 | 990.1 | 0.0655 | 2 395 | 4 180 | 1 892 | 0.637 | 0.0200 | 0.596×10^{-3} | 1.046×10^{-5} | 3.91 | 1.00 | 0.415×10^{-3} |
| 50 | 12.35 | 988.1 | 0.0831 | 2 383 | 4 181 | 1 900 | 0.644 | 0.0204 | 0.547×10^{-3} | 1.062×10^{-5} | 3.55 | 1.00 | 0.451×10^{-3} |
| 55 | 15.76 | 985.2 | 0.1045 | 2 371 | 4 183 | 1 908 | 0.649 | 0.0208 | 0.504×10^{-3} | 1.077×10^{-5} | 3.25 | 1.00 | 0.484×10^{-3} |
| 60 | 19.94 | 983.3 | 0.1304 | 2 359 | 4 185 | 1 916 | 0.654 | 0.0212 | 0.467×10^{-3} | 1.093×10^{-5} | 2.99 | 1.00 | 0.517×10^{-3} |
| 65 | 25.03 | 980.4 | 0.1614 | 2 346 | 4 187 | 1 926 | 0.659 | 0.0216 | 0.433×10^{-3} | 1.110×10^{-5} | 2.75 | 1.00 | 0.548×10^{-3} |
| 70 | 31.19 | 977.5 | 0.1983 | 2 334 | 4 190 | 1 936 | 0.663 | 0.0221 | 0.404×10^{-3} | 1.126×10^{-5} | 2.55 | 1.00 | 0.578×10^{-3} |
| 75 | 38.58 | 974.7 | 0.2421 | 2 321 | 4 193 | 1 948 | 0.667 | 0.0225 | 0.378×10^{-3} | 1.142×10^{-5} | 2.38 | 1.00 | 0.607×10^{-3} |
| 80 | 47.39 | 971.8 | 0.2935 | 2 309 | 4 197 | 1 962 | 0.670 | 0.0230 | 0.355×10^{-3} | 1.159×10^{-5} | 2.22 | 1.00 | 0.653×10^{-3} |
| 85 | 57.83 | 968.1 | 0.3536 | 2 296 | 4 201 | 1 977 | 0.673 | 0.0235 | 0.333×10^{-3} | 1.176×10^{-5} | 2.08 | 1.00 | 0.670×10^{-3} |
| 90 | 70.14 | 965.3 | 0.4235 | 2 283 | 4 206 | 1 993 | 0.675 | 0.0240 | 0.315×10^{-3} | 1.193×10^{-5} | 1.96 | 1.00 | 0.702×10^{-3} |
| 95 | 84.55 | 961.5 | 0.5045 | 2 270 | 4 212 | 2 010 | 0.677 | 0.0246 | 0.297×10^{-3} | 1.210×10^{-5} | 1.85 | 1.00 | 0.716×10^{-3} |
| 100 | 101.33 | 957.9 | 0.5978 | 2 257 | 4 217 | 2 029 | 0.679 | 0.0251 | 0.282×10^{-3} | 1.227×10^{-5} | 1.75 | 1.00 | 0.750×10^{-3} |
| 110 | 143.27 | 950.6 | 0.8263 | 2 230 | 4 229 | 2 071 | 0.682 | 0.0262 | 0.255×10^{-3} | 1.261×10^{-5} | 1.58 | 1.00 | 0.798×10^{-3} |
| 120 | 198.53 | 943.4 | 1.121 | 2 203 | 4 244 | 2 120 | 0.683 | 0.0275 | 0.232×10^{-3} | 1.296×10^{-5} | 1.44 | 1.00 | 0.858×10^{-3} |
| 130 | 270.1 | 934.6 | 1.496 | 2 174 | 4 263 | 2 177 | 0.684 | 0.0288 | 0.213×10^{-3} | 1.330×10^{-5} | 1.33 | 1.01 | 0.913×10^{-3} |
| 140 | 361.3 | 921.7 | 1.965 | 2 145 | 4 286 | 2 244 | 0.683 | 0.0301 | 0.197×10^{-3} | 1.365×10^{-5} | 1.24 | 1.02 | 0.970×10^{-3} |
| 150 | 475.8 | 916.6 | 2.546 | 2 114 | 4 311 | 2 314 | 0.682 | 0.0316 | 0.183×10^{-3} | 1.399×10^{-5} | 1.16 | 1.02 | 1.025×10^{-3} |
| 160 | 617.8 | 907.4 | 3.256 | 2 083 | 4 340 | 2 420 | 0.680 | 0.0331 | 0.170×10^{-3} | 1.434×10^{-5} | 1.09 | 1.05 | 1.145×10^{-3} |
| 170 | 791.7 | 897.7 | 4.119 | 2 050 | 4 370 | 2 490 | 0.677 | 0.0347 | 0.160×10^{-3} | 1.468×10^{-5} | 1.03 | 1.05 | 1.178×10^{-3} |
| 180 | 1 002.1 | 887.3 | 5.153 | 2 015 | 4 410 | 2 590 | 0.673 | 0.0364 | 0.150×10^{-3} | 1.502×10^{-5} | 0.983 | 1.07 | 1.210×10^{-3} |
| 190 | 1 254.4 | 876.4 | 6.388 | 1 979 | 4 460 | 2 710 | 0.669 | 0.0382 | 0.142×10^{-3} | 1.537×10^{-5} | 0.947 | 1.09 | 1.280×10^{-3} |
| 200 | 1 553.8 | 864.3 | 7.852 | 1 941 | 4 500 | 2 840 | 0.663 | 0.0401 | 0.134×10^{-3} | 1.571×10^{-5} | 0.910 | 1.11 | 1.350×10^{-3} |
| 220 | 2 318 | 840.3 | 11.60 | 1 859 | 4 610 | 3 110 | 0.650 | 0.0442 | 0.122×10^{-3} | 1.641×10^{-5} | 0.865 | 1.15 | 1.520×10^{-3} |
| 240 | 3 344 | 813.7 | 16.73 | 1 767 | 4 760 | 3 520 | 0.632 | 0.0487 | 0.111×10^{-3} | 1.712×10^{-5} | 0.836 | 1.24 | 1.720×10^{-3} |
| 260 | 4 688 | 783.7 | 23.69 | 1 663 | 4 970 | 4 070 | 0.609 | 0.0540 | 0.102×10^{-3} | 1.788×10^{-5} | 0.832 | 1.35 | 2.000×10^{-3} |
| 280 | 6 412 | 750.8 | 33.15 | 1 544 | 5 280 | 4 835 | 0.581 | 0.0605 | 0.094×10^{-3} | 1.870×10^{-5} | 0.854 | 1.49 | 2.380×10^{-3} |
| 300 | 8 581 | 713.8 | 46.15 | 1 405 | 5 750 | 5 980 | 0.548 | 0.0695 | 0.086×10^{-3} | 1.965×10^{-5} | 0.902 | 1.69 | 2.950×10^{-3} |
| 320 | 11 274 | 667.1 | 64.57 | 1 239 | 6 540 | 7 900 | 0.509 | 0.0836 | 0.078×10^{-3} | 2.084×10^{-5} | 1.00 | 1.97 | — |
| 340 | 14 586 | 610.5 | 92.62 | 1 028 | 8 240 | 11 870 | 0.469 | 0.110 | 0.070×10^{-3} | 2.255×10^{-5} | 1.23 | 2.43 | — |
| 360 | 18 651 | 528.3 | 144.0 | 720 | 14 690 | 25 800 | 0.427 | 0.178 | 0.060×10^{-3} | 2.571×10^{-5} | 2.06 | 3.73 | — |
| 374.14 | 22 090 | 317.0 | 317.0 | 0 | — | — | — | — | 0.043×10^{-3} | 4.313×10^{-5} | — | — | — |

Fuente: (Cengel y Ghajar, 2011)

Anexo 13. Viscosidad dinámica y cinemática del agua

TABLA A.1 Unidades del SI [101 kPa (abs)]

| Temperatura (°C) | Peso específico γ (kN/m ³) | Densidad ρ (kg/m ³) | Viscosidad dinámica η (Pa·s) | Viscosidad cinemática ν (m ² /s) |
|------------------|-----------------------------------------------|--------------------------------------|-----------------------------------|-------------------------------------------------|
| 0 | 9.81 | 1000 | 1.75×10^{-3} | 1.75×10^{-6} |
| 5 | 9.81 | 1000 | 1.52×10^{-3} | 1.52×10^{-6} |
| 10 | 9.81 | 1000 | 1.30×10^{-3} | 1.30×10^{-6} |
| 15 | 9.81 | 1000 | 1.15×10^{-3} | 1.15×10^{-6} |
| 20 | 9.79 | 998 | 1.02×10^{-3} | 1.02×10^{-6} |
| 25 | 9.78 | 997 | 8.91×10^{-4} | 8.94×10^{-7} |
| 30 | 9.77 | 996 | 8.00×10^{-4} | 8.03×10^{-7} |
| 35 | 9.75 | 994 | 7.18×10^{-4} | 7.22×10^{-7} |
| 40 | 9.73 | 992 | 6.51×10^{-4} | 6.56×10^{-7} |
| 45 | 9.71 | 990 | 5.94×10^{-4} | 6.00×10^{-7} |
| 50 | 9.69 | 988 | 5.41×10^{-4} | 5.48×10^{-7} |
| 55 | 9.67 | 986 | 4.98×10^{-4} | 5.05×10^{-7} |
| 60 | 9.65 | 984 | 4.60×10^{-4} | 4.67×10^{-7} |
| 65 | 9.62 | 981 | 4.31×10^{-4} | 4.39×10^{-7} |
| 70 | 9.59 | 978 | 4.02×10^{-4} | 4.11×10^{-7} |
| 75 | 9.56 | 975 | 3.73×10^{-4} | 3.83×10^{-7} |
| 80 | 9.53 | 971 | 3.50×10^{-4} | 3.60×10^{-7} |
| 85 | 9.50 | 968 | 3.30×10^{-4} | 3.41×10^{-7} |
| 90 | 9.47 | 965 | 3.11×10^{-4} | 3.22×10^{-7} |
| 95 | 9.44 | 962 | 2.92×10^{-4} | 3.04×10^{-7} |
| 100 | 9.40 | 958 | 2.82×10^{-4} | 2.94×10^{-7} |

Fuente: (Mott y Untener, 2015)

Anexo 14. Conductividad térmica de materiales

| Material | k , W/m*°C |
|------------------------|--------------|
| Diamante | 2300 |
| Plata | 429 |
| Cobre | 401 |
| Oro | 317 |
| Aluminio | 237 |
| Hierro | 80.2 |
| Mercurio (l) | 8.54 |
| Vidrio | 0.78 |
| Ladrillo | 0.72 |
| Agua (l) | 0.607 |
| Piel humana | 0.37 |
| Madera (roble) | 0.17 |
| Helio (g) | 0.152 |
| Caucho | 0.13 |
| Fibra de vidrio | 0.043 |
| Aire (g) | 0.026 |
| Uretano, espuma rígida | 0.026 |

Fuente: (Cengel y Ghajar, 2011)

Anexo 15. Característica de factor de seguridad A, B, C

| Característica | | | B | | | |
|----------------|---|----|------|------|------|------|
| | | | mb | b | r | P |
| A=mb | C | mb | 1.1 | 1.3 | 1.5 | 1.7 |
| | | b | 1.2 | 1.45 | 1.7 | 1.95 |
| | | r | 1.3 | 1.6 | 1.9 | 2.2 |
| | | p | 1.4 | 1.75 | 2.1 | 2.45 |
| A=b | C | mb | 1.3 | 1.55 | 1.8 | 2.05 |
| | | b | 1.45 | 1.75 | 2.05 | 2.35 |
| | | r | 1.6 | 1.95 | 2.3 | 2.65 |
| | | p | 1.75 | 2.15 | 2.55 | 2.95 |
| A=r | C | mb | 1.5 | 1.8 | 2.1 | 2.4 |
| | | b | 1.7 | 2.05 | 2.4 | 2.75 |
| | | r | 1.9 | 2.3 | 2.7 | 3.1 |
| | | p | 2.1 | 2.55 | 3 | 3.45 |
| A=p | C | mb | 1.7 | 2.15 | 2.4 | 2.75 |
| | | b | 1.95 | 2.35 | 2.75 | 3.15 |
| | | r | 2.2 | 2.65 | 2.75 | 3.15 |
| | | p | 2.45 | 2.95 | 3.45 | 3.95 |

Fuente: (Sprocket, 2013)


Anexo 16. Características del factor de seguridad D y E

| Característica | | | D | |
|----------------|----|-----|------|-----|
| | | | ns | ms |
| E | ns | 1.1 | 1.3 | 1.5 |
| | s | 1.2 | 1.45 | 1.7 |
| | ms | 1.3 | 1.6 | 1.9 |

Fuente: (Sprocket, 2013)

Anexo 17. Cables de baja tensión de Centelsa

**CABLES
TTU Cu
600 V Y 2000 V 75°C**



CENTELSA®
CABLES DE ENERGÍA Y DE TELECOMUNICACIONES S.A.
Una empresa Viakable

| Conductor | | TTU 600 V | | | | TTU 2000 V | | | | Ampacidad ⁽¹⁾ |
|-------------|-----------------|---------------------|------------------|------------------------------|-----------------------|---------------------|------------------|------------------------------|-----------------------|--------------------------|
| Calibre | Área | Espesor Aislamiento | Espesor Cubierta | Diámetro Exterior Aproximado | Peso Total Aproximado | Espesor Aislamiento | Espesor Cubierta | Diámetro Exterior Aproximado | Peso Total Aproximado | |
| AWG / kcmil | mm ² | mm | mm | mm | kg/km | mm | mm | mm | kg/km | |
| 14 | 2,1 | 0,76 | 0,38 | 4,23 | 32 | 1,14 | 0,38 | 5,01 | 38 | 20 |
| 12 | 3,3 | 0,76 | 0,38 | 4,70 | 45 | 1,14 | 0,38 | 5,48 | 51 | 25 |
| 10 | 5,3 | 0,76 | 0,38 | 5,29 | 65 | 1,14 | 0,38 | 6,07 | 72 | 35 |
| 8 | 8,4 | 1,14 | 0,38 | 5,81 | 105 | 1,40 | 0,76 | 6,11 | 123 | 48 |
| 6 | 13,3 | 1,14 | 0,76 | 6,51 | 158 | 1,40 | 0,76 | 6,05 | 176 | 65 |
| 4 | 21,2 | 1,14 | 0,76 | 6,69 | 248 | 1,40 | 0,76 | 10,23 | 256 | 87 |
| 3 | 26,7 | 1,14 | 0,76 | 10,39 | 303 | 1,40 | 0,76 | 10,93 | 312 | 99 |
| 2 | 33,6 | 1,14 | 0,76 | 11,18 | 372 | 1,40 | 0,76 | 11,72 | 382 | 114 |
| 1 | 42,4 | 1,40 | 1,14 | 13,25 | 486 | 1,65 | 1,14 | 13,77 | 497 | 130 |
| 1/0 | 53,5 | 1,40 | 1,14 | 14,23 | 595 | 1,65 | 1,14 | 14,75 | 607 | 151 |
| 2/0 | 67,4 | 1,40 | 1,14 | 15,32 | 732 | 1,65 | 1,14 | 15,84 | 744 | 174 |
| 3/0 | 85,0 | 1,40 | 1,14 | 16,55 | 902 | 1,65 | 1,14 | 17,07 | 916 | 200 |
| 4/0 | 107,0 | 1,40 | 1,14 | 17,94 | 1116 | 1,65 | 1,14 | 18,45 | 1130 | 230 |
| 250 | 127,0 | 1,65 | 1,14 | 20,00 | 1320 | 1,91 | 1,65 | 21,50 | 1386 | 256 |
| 300 | 152,0 | 1,65 | 1,65 | 22,42 | 1614 | 1,91 | 1,65 | 22,96 | 1633 | 284 |
| 350 | 177,0 | 1,65 | 1,65 | 23,66 | 1858 | 1,91 | 1,65 | 24,20 | 1878 | 310 |
| 400 | 203,0 | 1,65 | 1,65 | 24,81 | 2101 | 1,91 | 1,65 | 25,35 | 2122 | 335 |
| 450 | 228,0 | 1,65 | 1,65 | 25,91 | 2343 | 1,91 | 1,65 | 26,45 | 2365 | 358 |
| 500 | 253,0 | 1,65 | 1,65 | 26,93 | 2584 | 1,91 | 1,65 | 27,47 | 2607 | 380 |
| 550 | 279,0 | 2,03 | 1,65 | 28,68 | 2854 | 2,29 | 1,65 | 29,22 | 2878 | 401 |
| 600 | 304,0 | 2,03 | 1,65 | 29,62 | 3095 | 2,29 | 1,65 | 30,16 | 3120 | 421 |
| 650 | 329,0 | 2,03 | 1,65 | 30,51 | 3335 | 2,29 | 1,65 | 31,05 | 3361 | 440 |
| 700 | 355,0 | 2,03 | 1,65 | 31,37 | 3575 | 2,29 | 1,65 | 31,91 | 3601 | 458 |
| 750 | 380,0 | 2,03 | 1,65 | 32,21 | 3815 | 2,29 | 1,65 | 32,75 | 3842 | 475 |

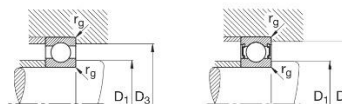
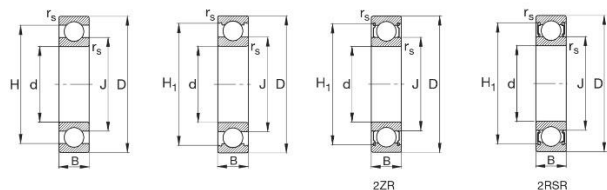
Nota: Los datos aquí registrados son nominales y están sujetos a tolerancias según las normas y las prácticas normales de fabricación. Otras configuraciones y calibres no especificados en este catálogo, están disponibles bajo pedido.
(1) No más de tres conductores portadores de corriente en una canalización o directamente enterrado, temperatura ambiente 30°C, temperatura conductor 75°C.

Cables para baja tensión **4**

Fuente: (Centelsa, s.f.)

Anexo 18. Rodamientos FAG

Rodamientos FAG rígidos de bolas de una hilera



Los rodamientos pueden alcanzar una duración de vida ilimitada, si $C_v/P_0 \geq 8$, ver Fig.41.

| Eje | Dimensiones | | | | | | | Peso [kg] | Capacidad de carga | | Velocidad límite [min ⁻¹] | Velocidad de referencia | Denominación abreviada Rodamiento FAG | Medidas auxiliares | | | |
|-----|-------------|---------|---------|-----------------------|---------|----------------------|---------|--------------|--------------------|-------------------------|------------------------------------------|-------------------------|------------------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------|-----|
| | d mm | D mm | B mm | r _s min | H mm | H ₁ mm | J mm | | dyn. C | stat. C ₀ | | | | D ₁ min mm | D ₃ max mm | r _g max | |
| 15 | 15 | 35 | 11 | 0,6 | 29,3 | 30,9 | 21,1 | 0,043 | 7,8 | 3,75 | 26000 | 24000 | 6202 | 19,2 | 30,8 | 0,6 | |
| | 15 | 35 | 11 | 0,6 | 29,3 | 30,9 | 21,1 | 0,043 | 7,8 | 3,75 | 26000 | 24000 | S6202.W203B | 19,2 | 30,8 | 0,6 | |
| | 15 | 35 | 11 | 0,6 | 29,3 | 30,9 | 21,1 | 0,045 | 7,8 | 3,75 | 20000 | 24000 | 6202.2ZR | 19,2 | 30,8 | 0,6 | |
| | 15 | 35 | 11 | 0,6 | 29,3 | 30,9 | 21,1 | 0,045 | 7,8 | 3,75 | 14000 | | 6202.2RSR | 19,2 | 30,8 | 0,6 | |
| | 15 | 35 | 11 | 0,6 | 29,3 | 30,9 | 21,1 | 0,045 | 7,8 | 3,75 | 14000 | | S6202.2RSR.W203B | 19,2 | 30,8 | 0,6 | |
| | 15 | 35 | 14 | 0,6 | 29,3 | 30,9 | 21,1 | 0,057 | 7,8 | 3,75 | 14000 | | 62202.2RSR | 19,2 | 30,8 | 0,6 | |
| | 15 | 42 | 13 | 1 | 33,5 | 35 | 23,6 | 0,088 | 11,4 | 5,4 | 43000 | 22000 | 6302 | 20,6 | 36,4 | 1 | |
| | 15 | 42 | 13 | 1 | 33,5 | 35 | 23,6 | 0,088 | 11,4 | 5,4 | 43000 | 22000 | S6302.W203B | 20,6 | 36,4 | 1 | |
| | 15 | 42 | 13 | 1 | 33,5 | 35 | 23,6 | 0,09 | 11,4 | 5,4 | 18000 | 22000 | 6302.2ZR | 20,6 | 36,4 | 1 | |
| | 15 | 42 | 13 | 1 | 33,5 | 35 | 23,6 | 0,09 | 11,4 | 5,4 | 12000 | | 6302.2RSR | 20,6 | 36,4 | 1 | |
| | 15 | 42 | 13 | 1 | 33,5 | 35 | 23,6 | 0,09 | 11,4 | 5,4 | 12000 | | S6302.2RSR.W203B | 20,6 | 36,4 | 1 | |
| | 15 | 42 | 17 | 1 | 33,5 | 35 | 23,6 | 0,114 | 11,4 | 5,4 | 12000 | | 62302.2RSR | 20,6 | 36,4 | 1 | |
| | 17 | 17 | 35 | 8 | 0,3 | 29,5 | 30,9 | 22,6 | 0,03 | 6 | 3,25 | 28000 | 20000 | 16003 | 19 | 33 | 0,3 |
| | | 17 | 35 | 10 | 0,3 | 29,4 | 30,8 | 22,6 | 0,038 | 6 | 3,25 | 28000 | 22000 | 6003 | 19 | 33 | 0,3 |
| | | 17 | 35 | 10 | 0,3 | 29,4 | 30,8 | 22,6 | 0,038 | 6 | 3,25 | 28000 | 22000 | S6003.W203B | 19 | 33 | 0,3 |
| 17 | | 35 | 10 | 0,3 | 29,4 | 30,8 | 22,6 | 0,04 | 6 | 3,25 | 22000 | 22000 | 6003.2ZR | 19 | 33 | 0,3 | |
| 17 | | 35 | 10 | 0,3 | 29,4 | 30,8 | 22,6 | 0,04 | 6 | 3,25 | 14000 | | 6003.2RSR | 19 | 33 | 0,3 | |
| 17 | | 35 | 10 | 0,3 | 29,4 | 30,8 | 22,6 | 0,04 | 6 | 3,25 | 14000 | | S6003.2RSR.W203B | 19 | 33 | 0,3 | |
| 17 | | 40 | 12 | 0,6 | 33,1 | 34,4 | 24 | 0,065 | 9,5 | 4,75 | 22000 | 20000 | 6203 | 21,2 | 35,8 | 0,6 | |
| 17 | | 40 | 12 | 0,6 | 33,1 | 34,4 | 24 | 0,065 | 9,5 | 4,75 | 22000 | 20000 | S6203.W203B | 21,2 | 35,8 | 0,6 | |
| 17 | | 40 | 12 | 0,6 | 33,1 | 34,4 | 24 | 0,067 | 9,5 | 4,75 | 18000 | 20000 | 6203.2ZR | 21,2 | 35,8 | 0,6 | |
| 17 | | 40 | 12 | 0,6 | 33,1 | 34,4 | 24 | 0,067 | 9,5 | 4,75 | 12000 | | 6203.2RSR | 21,2 | 35,8 | 0,6 | |
| 17 | | 40 | 12 | 0,6 | 33,1 | 34,4 | 24 | 0,067 | 9,5 | 4,75 | 12000 | | S6203.2RSR.W203B | 21,2 | 35,8 | 0,6 | |
| 17 | | 40 | 16 | 0,6 | 33,1 | 34,4 | 24 | 0,087 | 9,5 | 4,75 | 12000 | | 62203.2RSR | 21,2 | 35,8 | 0,6 | |
| 17 | | 47 | 14 | 1 | 37,9 | 39,3 | 26,2 | 0,114 | 13,4 | 6,55 | 19000 | 20000 | 6303 | 22,6 | 41,4 | 1 | |
| 17 | | 47 | 14 | 1 | 37,9 | 39,3 | 26,2 | 0,111 | 13,4 | 6,55 | 19000 | 20000 | S6303.W203B | 22,6 | 41,4 | 1 | |
| 17 | | 47 | 14 | 1 | 37,9 | 39,3 | 26,2 | 0,117 | 13,4 | 6,55 | 15000 | 20000 | 6303.2ZR | 22,6 | 41,4 | 1 | |
| 17 | | 47 | 14 | 1 | 37,9 | 39,3 | 26,2 | 0,118 | 13,4 | 6,55 | 11000 | | 6303.2RSR | 22,6 | 41,4 | 1 | |
| 17 | | 47 | 14 | 1 | 37,9 | 39,3 | 26,2 | 0,115 | 13,4 | 6,55 | 11000 | | S6303.2RSR.W203B | 22,6 | 41,4 | 1 | |
| 17 | | 47 | 19 | 1 | 37,9 | 39,3 | 26,2 | 0,154 | 13,4 | 6,55 | 11000 | | 62303.2RSR | 22,6 | 41,4 | 1 | |
| 17 | | 62 | 17 | 1,1 | 50,2 | 52,5 | 36,4 | 0,269 | 22,4 | 11,4 | 28000 | 17000 | 6403 | 26 | 53 | 1 | |
| 20 | | 20 | 42 | 8 | 0,3 | 34,7 | 36,1 | 27,2 | 0,05 | 6,95 | 4,05 | 22000 | 16000 | 16004 | 22 | 40 | 0,3 |
| | | 20 | 42 | 12 | 0,6 | 35,5 | 37,4 | 26,6 | 0,068 | 9,3 | 5 | 20000 | 20000 | 6004 | 23,2 | 38,8 | 0,6 |
| | 20 | 42 | 12 | 0,6 | 35,5 | 37,4 | 26,6 | 0,064 | 9,3 | 5 | 20000 | 20000 | S6004.W203B | 23,2 | 38,8 | 0,6 | |
| | 20 | 42 | 12 | 0,6 | 35,5 | 37,4 | 26,6 | 0,071 | 9,3 | 5 | 17000 | 20000 | 6004.2ZR | 23,2 | 38,8 | 0,6 | |
| | 20 | 42 | 12 | 0,6 | 35,5 | 37,4 | 26,6 | 0,071 | 9,3 | 5 | 12000 | | 6004.2RSR | 23,2 | 38,8 | 0,6 | |
| | 20 | 42 | 12 | 0,6 | 35,5 | 37,4 | 26,6 | 0,067 | 9,3 | 5 | 12000 | | S6004.2RSR.W203B | 23,2 | 38,8 | 0,6 | |

Anexo 20. Características de materiales.

Tabla 1-2
Características de los Materiales



| Material | Peso lb por pie cúbico | Código de Material | Selección de Rodamiento Intermedio | Serie de Componentes | Factor de Material F_c | Carga de Arjesa |
|---------------------------------------|------------------------|--------------------|------------------------------------|----------------------|--------------------------|-----------------|
| Arsénico Pulverizado | 30 | A100-25R | H | 2 | 0.8 | 45 |
| Arsenita de Plomo | 72 | A40-35R | L-S-B | 1 | 1.4 | 30A |
| Asbesto desfibrado | 20-40 | E-46XY | H | 2 | 1 | 30B |
| Asamín, Saco | 10-13 | B6-45LJX | L-S-B | 1 | 1.4 | 15 |
| Asfalto (de Utah) | 37 | C1/2-35 | H | 3 | 1.5 | 30A |
| Asfalto, Triturado - 1/2" | 45 | C1/2-45 | H | 2 | 2 | 30A |
| Avana | 26 | C1/2-25MN | L-S-B | 1 | 0.4 | 45 |
| Avana, cáscarilla | 8-12 | B6-35NY | L-S-B | 1 | 0.5 | 30A |
| Avana, harina | 36 | A100-35 | L-S-B | 1 | 0.5 | 30A |
| Avana, procesada | 19-24 | C1/2-35NY | L-S-B | 1 | 0.6 | 30A |
| Avana, rizada | 19-26 | C1/2-35 | L-S-B | 1 | 0.5 | 30A |
| Avana, triturada | 22 | B6-45NY | L-S-B | 1 | 0.6 | 30A |
| Azafrán (ver Cártamo) | - | - | - | - | - | - |
| Azúcar de leche | 32 | A100-35PX | S | 1 | 0.6 | 30A |
| Azúcar de Remolacha, Pulpa Húmeda | 25-45 | C1/2-36X | L-S-B | 1 | 1.2 | 30A |
| Azúcar de Remolacha, Pulpa Saca | 12-15 | C1/2-26 | H | 2 | 0.9 | 30B |
| Azúcar, cruda, masecado | 55-65 | B6-35PX | S | 1 | 1.5 | 30A |
| Azúcar, en polvo | 50-60 | A100-35PX | S | 1 | 0.8 | 30A |
| Azúcar, refinada, granulada húmeda | 55-65 | C1/2-36X | S | 1 | 1.4-2.0 | 30A |
| Azúcar, refinada, granulada seca | 50-55 | B6-35PU | S | 1 | 1.0-1.2 | 30A |
| Azufre, en polvo | 50-60 | A40-35MN | L-S | 1 | 0.6 | 30A |
| Azufre, en trozos - 3" | 80-85 | D3-35N | L-S | 2 | 0.8 | 30A |
| Azufre, triturado - 1/2" | 50-60 | C1/2-36N | L-S | 1 | 0.8 | 30A |
| Bagazo de caña | 7-10 | E-45RVXY | L-S-B | 2 | 1.5 | 30A |
| Baquelita, polvo fino | 30-45 | B6-25 | L-S-B | 1 | 1.4 | 45 |
| Barita (Sulfato de Bario) + 1/2" - 3" | 120-180 | D3-36 | H | 3 | 2.6 | 30B |
| Barita en polvo | 120-180 | A100-35X | H | 2 | 2 | 30A |
| Basalto | 80-105 | B6-27 | H | 3 | 1.8 | 15 |
| Bauxita seca, molida | 68 | B6-25 | H | 2 | 1.8 | 45 |
| Bauxita, triturada - 3" | 75-85 | D3-36 | H | 3 | 2.5 | 30B |
| Bentonita cruda | 34-40 | D3-45X | H | 2 | 1.2 | 30A |
| Bentonita de Sodio (ver Bantonita) | - | - | - | - | - | - |
| Bentonita, malla 100 | 50-60 | A100-25MXV | H | 2 | 0.7 | 45 |
| Bicarbonato de Sodio | 40-55 | A100-25 | S | 1 | 0.6 | 45 |
| Borato de Calcio | 60 | A100-35 | L-S-B | 1 | 0.6 | 30A |
| Borato de Sodio (ver Bórax) | - | - | - | - | - | - |
| Borax, cribado 1/2" | 55-60 | C1/2-35 | H | 2 | 1.5 | 30A |
| Bórax, en trozo 1 1/2" a 2" | 55-60 | D3-35 | H | 2 | 1.8 | 30A |
| Bórax, en trozo 2" a 3" | 60-70 | D3-35 | H | 2 | 2 | 30A |
| Bórax, polvo fino | 45-55 | B6-25T | H | 3 | 0.7 | 30B |
| Boro | 75 | A100-37 | H | 2 | 1 | 30B |
| Cacahuete crudo, sin limpiar | 15-20 | D3-36Q | H | 3 | 0.7 | 30B |
| Cacahuete sin cáscara | 35-45 | C1/2-36Q | S | 1 | 0.4 | 30A |
| Cacahuete, harina | 30 | B6-35P | S | 1 | 0.6 | 30A |
| Cacahuete, limpio, con cáscara | 15-20 | D3-36Q | L-S | 2 | 0.6 | 30A |
| Cacao en escamas | 35 | C1/2-25 | H | 2 | 0.5 | 45 |
| Cacao en polvo | 30-35 | A100-45XY | S | 1 | 0.9 | 30A |
| Cacao en semilla | 30-45 | C1/2-25Q | L-S | 1 | 0.5 | 45 |
| Café en polvo, soluble | 19 | A40-35PUY | S | 1 | 0.4 | 45 |
| Café molido, húmedo | 35-45 | A40-45X | L-S | 1 | 0.6 | 30A |
| Café molido, seco | 25 | A40-35P | L-S | 1 | 0.6 | 30A |
| Café tostado en grano | 20-30 | C1/2-25PQ | S | 1 | 0.4 | 45 |
| Café, cáscarilla | 20 | B6-25MY | L-S | 1 | 1 | 45 |
| Café, grano verde | 25-32 | C1/2-25PQ | L-S | 1 | 0.5 | 45 |
| Cal hidrotada | 40 | B6-35LM | H | 2 | 0.8 | 30A |
| Cal viva, molida | 60-85 | B6-35U | L-S-B | 1 | 0.6 | 30A |

H-8

[Regresar al Menú Principal](#)

[Regresar al Índice de la Sección H](#)

Fuente: (Sprocket, 2013)

Anexo 21. Medición de espacio vacío del depósito.



Anexo 22. Descarga del café.



Anexo 23. Control de la temperatura.



Anexo 24. Primera muestra de café fermentado.



Anexo 25. Segunda muestra de café fermentado



Anexo 26. Tercera muestra de café fermentado



Anexo 27. Planos del fermentador, CD-ROM 1

Anexo 28. Certificado de traducción del resumen

CERTIFICACION DE TRADUCCION


Loja, 03 de agosto de 2023

Susana Guadalupe Mendoza Prado
Licenciada en Ciencias de la Educación, idioma inglés

Certifico:

Que la traducción al idioma inglés del resumen de la tesis denominada "**Diseño y construcción de un fermentador aerobio de café con control de temperatura**", correspondiente al señor **Alex Vicente Robles Granda**, portador de la cédula de identidad nro. **1104878408**, ha sido revisado y supervisado según se me ha solicitado, por lo cual cumple con la correcta traducción al idioma inglés.

Esto es lo que puedo mencionar y certificar en honor a la verdad para fines pertinentes.



Lic. Susana Guadalupe Mendoza Prado
C.I. 1750913079