

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

Escuela Académico Profesional de Ingeniería Mecánica

Tesis

**Diseño y desarrollo de un sistema vertical de lavado  
de café fermentado con recirculación de agua para  
los productores del anexo Señor de los Milagros -  
Satipo - Junín**

Anhelo Jordan Pichardo Perez  
Luis Harold Rios Suarez

Para optar el Título Profesional de  
Ingeniero Mecánico

Huancayo, 2024

Repositorio Institucional Continental  
Tesis digital



Esta obra está bajo una Licencia "Creative Commons Atribución 4.0 Internacional" .

## INFORME DE CONFORMIDAD DE ORIGINALIDAD DE TESIS

**A** : Dr. Felipe Gutarra Meza  
Decano de la Facultad de Ingeniería

**DE** : Ma. Ing. Rafael De la Cruz Casaño  
Asesor de tesis

**ASUNTO** : Remito resultado de evaluación de originalidad de tesis

**FECHA** : 29 de Febrero de 2024

---

Con sumo agrado me dirijo a vuestro despacho para saludarlo y en vista de haber sido designado asesor de la tesis titulada: "**DISEÑO Y DESARROLLO DE UN SISTEMA VERTICAL DE LAVADO DE CAFÉ FERMENTADO CON RECIRCULACIÓN DE AGUA PARA LOS PRODUCTORES DEL ANEXO SEÑOR DE LOS MILAGROS - SATIPO - JUNÍN**", perteneciente al/la/los/las estudiante(s) **Anhelo Jordan Pichardo Perez y Luis Harold Rios Suarez**, de la E.A.P. de **Ingeniería Mecánica**; se procedió con la carga del documento a la plataforma "Turnitin" y se realizó la verificación completa de las coincidencias resaltadas por el software dando por resultado **16 %** de similitud (informe adjunto) sin encontrarse hallazgos relacionados a plagio. Se utilizaron los siguientes filtros:

- Filtro de exclusión de bibliografía SI  NO
- Filtro de exclusión de grupos de palabras menores (Nº de palabras excluidas: 20) SI  NO
- Exclusión de fuente por trabajo anterior del mismo estudiante SI  NO

En consecuencia, se determina que la tesis constituye un documento original al presentar similitud de otros autores (citas) por debajo del porcentaje establecido por la Universidad.

Recae toda responsabilidad del contenido de la tesis sobre el autor y asesor, en concordancia a los principios de legalidad, presunción de veracidad y simplicidad, expresados en el Reglamento del Registro Nacional de Trabajos de Investigación para optar grados académicos y títulos profesionales – RENATI y en la Directiva 003-2016-R/UC.

Esperando la atención a la presente, me despido sin otro particular y sea propicia la ocasión para renovar las muestras de mi especial consideración.

Atentamente,

**La firma del asesor obra en el archivo original**  
(No se muestra en este documento por estar expuesto a publicación)

## **DECLARACIÓN JURADA DE AUTENTICIDAD**

Yo, **Anhelo Jordan Pichardo Perez**, identificado(a) con Documento Nacional de Identidad No. **75971441**, de la E.A.P. de **Ingeniería Mecánica** de la Facultad de Ingeniería la Universidad Continental, declaro bajo juramento lo siguiente:

1. La tesis titulada: "**DISEÑO Y DESARROLLO DE UN SISTEMA VERTICAL DE LAVADO DE CAFÉ FERMENTADO CON RECIRCULACIÓN DE AGUA PARA LOS PRODUCTORES DEL ANEXO SEÑOR DE LOS MILAGROS - SATIPO - JUNÍN**", es de mi autoría, la misma que presento para optar el Título Profesional de **Ingeniero Mecánico**.
2. La tesis no ha sido plagiada ni total ni parcialmente, para la cual se han respetado las normas internacionales de citas y referencias para las fuentes consultadas, por lo que no atenta contra derechos de terceros.
3. La tesis es original e inédita, y no ha sido realizado, desarrollado o publicado, parcial ni totalmente, por terceras personas naturales o jurídicas. No incurre en autoplagio; es decir, no fue publicado ni presentado de manera previa para conseguir algún grado académico o título profesional.
4. Los datos presentados en los resultados son reales, pues no son falsos, duplicados, ni copiados, por consiguiente, constituyen un aporte significativo para la realidad estudiada.

De identificarse fraude, falsificación de datos, plagio, información sin cita de autores, uso ilegal de información ajena, asumo las consecuencias y sanciones que de mi acción se deriven, sometiéndome a las acciones legales pertinentes.

29 de febrero de 2024.

**La firma del autor y del asesor obra en el archivo original**

**(No se muestra en este documento por estar expuesto a publicación)**

## **DECLARACIÓN JURADA DE AUTENTICIDAD**

Yo, **Luis Harold Rios Suarez**, identificado(a) con Documento Nacional de Identidad No. **73441116**, de la E.A.P. de **Ingeniería Mecánica** de la Facultad de Ingeniería la Universidad Continental, declaro bajo juramento lo siguiente:

1. La tesis titulada: "**DISEÑO Y DESARROLLO DE UN SISTEMA VERTICAL DE LAVADO DE CAFÉ FERMENTADO CON RECIRCULACIÓN DE AGUA PARA LOS PRODUCTORES DEL ANEXO SEÑOR DE LOS MILAGROS - SATIPO - JUNÍN**", es de mi autoría, la misma que presento para optar el Título Profesional de **Ingeniero Mecánico**.
2. La tesis no ha sido plagiada ni total ni parcialmente, para la cual se han respetado las normas internacionales de citas y referencias para las fuentes consultadas, por lo que no atenta contra derechos de terceros.
3. La tesis es original e inédita, y no ha sido realizado, desarrollado o publicado, parcial ni totalmente, por terceras personas naturales o jurídicas. No incurre en autoplagio; es decir, no fue publicado ni presentado de manera previa para conseguir algún grado académico o título profesional.
4. Los datos presentados en los resultados son reales, pues no son falsos, duplicados, ni copiados, por consiguiente, constituyen un aporte significativo para la realidad estudiada.

De identificarse fraude, falsificación de datos, plagio, información sin cita de autores, uso ilegal de información ajena, asumo las consecuencias y sanciones que de mi acción se deriven, sometiéndome a las acciones legales pertinentes.

29 de febrero de 2024.

**La firma del autor y del asesor obra en el archivo original**

**(No se muestra en este documento por estar expuesto a publicación)**

# DISEÑO Y DESARROLLO DE UN SISTEMA VERTICAL DE LAVADO DE CAFÉ FERMENTADO CON RECIRCULACIÓN DE AGUA PARA LOS PRODUCTORES DEL ANEXO SEÑOR DE LOS MILAGROS - SATIPO - JUNÍN

## INFORME DE ORIGINALIDAD

<b>16%</b>	<b>16%</b>	<b>2%</b>	<b>5%</b>
INDICE DE SIMILITUD	FUENTES DE INTERNET	PUBLICACIONES	TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

## FUENTES PRIMARIAS

<b>1</b>	<b>hdl.handle.net</b> Fuente de Internet	<b>5%</b>
<b>2</b>	<b>Submitted to Universidad Continental</b> Trabajo del estudiante	<b>2%</b>
<b>3</b>	<b>repositorio.continental.edu.pe</b> Fuente de Internet	<b>1%</b>
<b>4</b>	<b>repositorio.uss.edu.pe</b> Fuente de Internet	<b>1%</b>
<b>5</b>	<b>www.scribd.com</b> Fuente de Internet	<b>1%</b>
<b>6</b>	<b>ciateq.repositorioinstitucional.mx</b> Fuente de Internet	<b>1%</b>
<b>7</b>	<b>archive.org</b> Fuente de Internet	<b>1%</b>
<b>8</b>	<b>www.cenicafe.org</b> Fuente de Internet	<b>&lt;1%</b>

9	<a href="http://cris.utec.edu.pe">cris.utec.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1 %
10	NELSON RODRÍGUEZ VALENCIA. "Estudio de un biosistema integrado para el postratamiento de las aguas residuales del café utilizando macrófitas acuáticas.", Universitat Politecnica de Valencia, 2009 Publicación	<1 %
11	<a href="http://repository.uamerica.edu.co">repository.uamerica.edu.co</a> Fuente de Internet	<1 %
12	<a href="http://fdocuments.es">fdocuments.es</a> Fuente de Internet	<1 %
13	<a href="http://qdoc.tips">qdoc.tips</a> Fuente de Internet	<1 %
14	<a href="http://is.upc.edu">is.upc.edu</a> Fuente de Internet	<1 %
15	Submitted to Universidad Nacional del Centro del Peru Trabajo del estudiante	<1 %
16	<a href="http://myslide.es">myslide.es</a> Fuente de Internet	<1 %
17	Submitted to Tecsup Trabajo del estudiante	<1 %
18	<a href="http://jcyta.cenidet.tecnm.mx">jcyta.cenidet.tecnm.mx</a> Fuente de Internet	<1 %

19	<a href="http://vdocuments.es">vdocuments.es</a> Fuente de Internet	<1 %
20	<a href="http://repositorio.utec.edu.pe">repositorio.utec.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1 %
21	<a href="http://www.ele.uva.es">www.ele.uva.es</a> Fuente de Internet	<1 %
22	<a href="http://repositorio.adp.edu.pe">repositorio.adp.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1 %
23	<a href="http://red.uao.edu.co">red.uao.edu.co</a> Fuente de Internet	<1 %
24	<a href="http://repositorio.unac.edu.pe">repositorio.unac.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1 %
25	<a href="http://repositorio.uaustral.edu.pe">repositorio.uaustral.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1 %
26	<a href="http://bibdigital.epn.edu.ec">bibdigital.epn.edu.ec</a> Fuente de Internet	<1 %
27	<a href="http://idoc.pub">idoc.pub</a> Fuente de Internet	<1 %
28	<a href="http://repositorio.utn.edu.ec">repositorio.utn.edu.ec</a> Fuente de Internet	<1 %
29	<a href="http://dspace.uclv.edu.cu">dspace.uclv.edu.cu</a> Fuente de Internet	<1 %
30	<a href="http://repositorio.uptc.edu.co">repositorio.uptc.edu.co</a> Fuente de Internet	<1 %



31	<b>vsip.info</b> Fuente de Internet	<1 %
32	<b>repositorio.uncp.edu.pe</b> Fuente de Internet	<1 %
33	<b>Submitted to Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo</b> Trabajo del estudiante	<1 %
34	<b>Submitted to Universidad Privada Boliviana</b> Trabajo del estudiante	<1 %
35	<b>guacherna.uac.edu.co</b> Fuente de Internet	<1 %
36	<b>Submitted to Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo</b> Trabajo del estudiante	<1 %
37	<b>livrosdeamor.com.br</b> Fuente de Internet	<1 %
38	<b>dokumen.tips</b> Fuente de Internet	<1 %
39	<b>www.anam.gob.pa</b> Fuente de Internet	<1 %

Excluir citas

Apagado

Excluir coincidencias < 20 words

Excluir bibliografía

Activo

## **AGRADECIMIENTO**

En primer lugar, doy gracias a Dios por estar siempre presente en nuestras vidas cuidándonos y guiándonos en todo momento, dándonos bienestar y energías para seguir adelante. A nuestros queridos padres por su cariño, esfuerzo y dedicación en formarnos a lo largo de la vida ya que sin ellos nada de esto sería posible.

## **DEDICATORIA**

A Dios por permitirnos estar presentes en estos momentos y guiarnos en toda nuestra vida. A nuestros padres, quienes confiaron en nosotros en todo momento, apoyándonos incondicionalmente para poder cumplir con nuestras metas y sueños. A los agricultores que día a día se esfuerzan por llevar alimento a nuestras casas.

## ÍNDICE

PORTADA.....	i
AGRADECIMIENTO .....	ix
DEDICATORIA .....	x
ÍNDICE.....	xi
ÍNDICE DE TABLAS .....	1
ÍNDICE DE FIGURAS.....	4
RESUMEN .....	8
ABSTRACT.....	9
INTRODUCCIÓN .....	10
CAPÍTULO I .....	12
PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO .....	12
1.1    Planteamiento y formulación del problema .....	12
1.1.1    Problema general .....	14
1.1.2    Problema específico .....	14
1.2    Objetivos .....	14
1.2.1    Objetivo general.....	14
1.2.2    Objetivos específicos .....	14
1.3    Justificación .....	14
1.3.1    Justificación teórica .....	14
1.3.2    Justificación práctica.....	15
1.3.3    Justificación ambiental.....	15
1.3.4    Justificación económica .....	15
CAPÍTULO II.....	16
MARCO TEÓRICO.....	16
2.1    Antecedentes del problema .....	16
2.1.1    Antecedentes internacionales.....	16
2.1.2    Antecedentes nacionales .....	19

2.2	Bases teóricas.....	21
2.2.1	Café.....	21
2.2.2	Proceso productivo del café.....	23
2.2.3	Características morfológicas del café.....	23
2.2.4	Sistema de lavado vertical o flujo ascendente.....	25
2.2.5	Sistema de lavado horizontal de cepillos.....	26
2.2.6	Lavado de café en piscinas.....	27
2.2.7	Lavado de café por canales de correteo.....	27
2.2.8	Mucílago y desmucilaginado.....	28
2.2.9	Aguas mieles.....	29
2.2.10	Diseño de ejes.....	29
2.2.11	Diseño de cuñas o chavetas.....	32
2.2.12	Diseño de rodamientos.....	38
2.2.13	Diseño de faja o bandas.....	42
2.2.14	Diseño de eje – hélice.....	48
2.2.15	Acero inoxidable.....	56
2.2.16	Abastecimiento y transporte de agua.....	56
2.3	Definición de términos básicos.....	57
CAPÍTULO III.....		59
METODOLOGÍA.....		59
3.1	Metodología y tipo de investigación.....	59
3.1.1	Metodología de investigación.....	59
3.1.2	Tipo de investigación.....	60
3.1.3	Metodología empleada para el desarrollo de la solución.....	60
3.1.4	Determinar la estructura de funciones.....	62
3.1.5	Elaboración del concepto de solución.....	63
3.1.6	Elaboración del proyecto.....	64
3.1.7	Construcción.....	65
3.1.8	Costos de fabricación.....	65

CAPÍTULO IV .....	66
ANÁLISIS Y DISEÑO DE SOLUCIÓN .....	66
4.1  Identificación de requerimiento .....	66
4.1.1  Detallar el problema.....	66
4.1.2  Resumen analítico del estado del arte .....	68
4.1.3  Lista de exigencias.....	70
4.1.4  Planificación del proyecto.....	66
4.2  Análisis de solución .....	67
4.2.1  Determinar la estructura de funciones.....	67
4.2.2  Análisis técnico y económico .....	71
4.2.3  Conclusión del concepto solución.....	73
4.3  Diseño .....	74
4.3.1  Requerimientos para el cálculo (datos del grano de café).....	74
4.4  Memoria de cálculo.....	75
4.4.1  Diseño y selección de tornillo transportador y limpiadores .....	75
4.4.2  Diseño del eje.....	85
4.4.3  Diseño y selección de rodamientos .....	94
4.4.4  Selección de rodamiento con pestaña cuadrada .....	97
4.4.5  Diseño y selección de chavetas .....	100
4.4.6  Diseño y selección de bandas de transmisión .....	102
4.4.7  Diseño de tolva .....	111
4.4.8  Cálculo de consumo de agua y selección de componentes .....	113
4.5  Modelamiento y simulación.....	116
4.5.1  Estructura de soporte.....	116
4.5.2  Bastidor del sistema de lavado.....	119
4.5.3  Puerta del bastidor del sistema de lavado .....	122
4.5.4  Eje y tornillo sin fin .....	125
4.5.5  Limpiadores, mezcladores y separadores nivel 01.....	128
4.5.6  Limpiadores, mezcladores y separadores nivel 02.....	131

4.5.7	Tolva de abastecimiento o suministro.....	134
4.6	Modelado la lavadora de café .....	137
4.7	Análisis de resultados obtenidos de forma analítica y los obtenidos mediante simulación.....	137
CAPITULO V.....		138
CONSTRUCCIÓN .....		138
5.1	Construcción .....	138
5.2	Planos de detalles.....	138
5.2.1	Proceso de construcción de la máquina .....	140
5.2.2	Cuadro y diagrama de proceso de construcción.....	147
5.3	Costos.....	150
5.3.1	Costos directos .....	150
5.3.2	Materiales y equipos .....	150
5.3.3	Mano de obra y diseño .....	152
5.3.4	Costos indirectos .....	153
5.3.5	Costo total .....	153
5.4	Pruebas y resultados.....	153
CONCLUSIONES .....		162
TRABAJOS FUTUROS .....		163
BIBLIOGRAFÍA .....		164
ANEXOS .....		167

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Producción de café arábica (miles de sacos de 60 kg).....	22
Tabla 2. Producción total de café (arábica y robusta - miles de sacos de 60 kg).....	22
Tabla 3. Promedios y coeficientes de variación para las variables de café pergamino seco....	24
Tabla 4. Promedios y coeficientes de variación para las variables de café lavado .....	24
Tabla 5. Coeficientes de fricción, variación, límites de confianza en grano de café pergamino seco .....	25
Tabla 6. Coeficientes de fricción, variación, límites de confianza en grano de café lavado....	25
Tabla 7. Composición química de las aguas residuales del beneficio de café.....	29
Tabla 8. Propiedades mecánicas de aceros al carbono y aceros especiales .....	30
Tabla 9. Dimensiones en pulgadas de cuñas cuadradas y rectangulares.....	35
Tabla 10. Tamaños de cuñas woodruff adecuada para varios diámetros de eje.....	35
Tabla 11. Dimensiones de cuñas Woodruff serie en pulgadas.....	36
Tabla 12. Factor de carga radial equivalente para cojinete de bolas.....	41
Tabla 13. Dimensionamiento y clasificación de carga para cojinetes de bolas .....	42
Tabla 14. Características de algunos tipos comunes de bandas .....	44
Tabla 15. Dimensiones de convención de longitud factor K .....	45
Tabla 16. Circunferencias interiores de banda en V estándar .....	45
Tabla 17. Potencia nominal de bandas en V estándar.....	46
Tabla 18. Factor de corrección de ángulo de contacto K1 .....	46
Tabla 19. Factor de corrección de longitud de banda k2 .....	47
Tabla 20. Factores de servicio sugerido k2 para transmisión en banda V .....	48
Tabla 21. Coeficiente de relleno según tipo de carga.....	50
Tabla 22. Coeficiente de carga según inclinación.....	51
Tabla 23. Factor de diámetro según diámetro exterior <b>FD</b> .....	54
Tabla 24. Factor de diámetro según rodadura <b>Fb</b> .....	54
Tabla 25: tipos de acero inoxidable .....	56
Tabla 26. Lista de exigencias .....	62
Tabla 27. Tabla de planificación del proyecto.....	62
Tabla 28. Matriz morfológica .....	64
Tabla 29. Tabla de análisis técnico y económico.....	64
Tabla 30. Observaciones de las deficiencias del lavado de café tradicional.....	68
Tabla 31. Estado del arte.....	69
Tabla 32. Lista de exigencias .....	70
Tabla 33. Planificación de proyecto.....	66
Tabla 34. Determinación de secuencia de operación .....	67



Tabla 35. Matriz morfológica n.º 01 .....	68
Tabla 36. Análisis técnico n.º 01.....	71
Tabla 37. Análisis económico n.º 01.....	72
Tabla 38. Resultados del análisis técnico y económico .....	73
Tabla 39. Coeficiente de relleno según el tipo de carga $\lambda$ .....	76
Tabla 40. Propiedades físicas del café .....	76
Tabla 41. Coeficiente de carga según la inclinación $k$ .....	77
Tabla 42. Factor de diámetro según diámetro exterior <b>Fd</b> .....	82
Tabla 43. Interpolación de factor <b>Fd</b> .....	82
Tabla 44. Factor de rodadura <b>Fb</b> .....	82
Tabla 45. Propiedades mecánicas de aceros al carbono y aceros especiales .....	88
Tabla 46. factores de concentración <b>Kf</b> .....	90
Tabla 47. Parámetros en el factor de la condición superficial de Marín.....	92
Tabla 48. Factor de tamaño <b>Kb</b> .....	93
Tabla 49. Límite resistencia a la fatiga <b>Se'</b> .....	93
Tabla 50. Rodamientos rígidos de una hilera de bolas .....	96
Tabla 51. Rodamientos rígidos de una hilera de bolas - dimensiones específicas.....	97
Tabla 52. Rodamientos de bolas con pestaña cuadrada - dimensiones específicas .....	98
Tabla 53. Capacidad de carga y rendimiento.....	99
Tabla 54. Dimensiones del rodamiento con cuña cuadrada seleccionada.....	99
Tabla 55. Dimensiones en pulgadas de cuñas cuadradas y rectangulares.....	100
Tabla 56. Diámetros de polea estándar recomendados para un eje más rápido.....	104
Tabla 57. coeficiente de servicio según el tipo de máquina C2.....	106
Tabla 58. Relación de aumento de velocidad .....	106
Tabla 59. Geometría de la banda seleccionada .....	108
Tabla 60. Potencias nominales sección SPZ-XP/3V-XP .....	109
Tabla 61. Factor de corrección de la longitud de la correa ( <b>C1</b> ) .....	109
Tabla 62. Interpolación ( <b>C1</b> ) .....	110
Tabla 63. Arco de factor de corrección de potencia de contacto ( <b>C3</b> ) .....	110
Tabla 64. característica de la bomba seleccionada.....	115
Tabla 65. Análisis de los resultados de simulación de la estructura .....	118
Tabla 66. Análisis de los resultados de simulación del bastidor de lavado .....	121
Tabla 67. Análisis de los resultados de simulación de la puerta del bastidor de lavado.....	124
Tabla 68. Análisis de los resultados de simulación del eje y tornillo sin fin .....	127
Tabla 69. Análisis de los resultados de simulación del sistema de lavado nivel 01 .....	130
Tabla 70. Análisis de los resultados de simulación del sistema de lavado nivel 02 .....	133

Tabla 71. Análisis de los resultados de simulación de la tolva.....	136
Tabla 72. Análisis de resultados de forma analítica y simulación para el eje de lavado .....	137
Tabla 73. Cuadro del proceso de construcción .....	147
Tabla 74. Costo materiales y equipo.....	150
Tabla 75. Costos de mano de obra y diseño.....	152
Tabla 76. Total de costos directos.....	153
Tabla 77. Total de costos indirectos.....	153
Tabla 78. Total de la de inversión.....	153

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Producción de café 2018 - 2019 .....	12
Figura 2. Lavado artesanal de café.....	13
Figura 3. Diseño de una máquina desmucilagadora de cacao.....	17
Figura 4. Diseño de prototipo de máquina para el lavado de granos de sorgo (MLS-2019. Versión 1.0) utilizado para producir harina en la industria alimentaria.....	18
Figura 5. Diseño y simulación de un prototipo de máquina desmucilagadora de café.....	19
Figura 6. Optimización de los parámetros geométricos de una lavadora de quinua, usando el método de PIV .....	20
Figura 7. Diseño de una máquina lavadora de zanahorias .....	21
Figura 8. Cosecha de granos de café.....	22
Figura 9. Dimensiones ortogonales de un grano de café pergamino .....	23
Figura 10. Máquina de benefició café vertical.....	26
Figura 11. Lavadoras de café de un disco.....	26
Figura 12. Lavado de café mediante pilas o piscinas.....	27
Figura 13. Lavado de café mediante canales de correteo.....	28
Figura 14. Partes de un grano de café cerezo.....	28
Figura 15. Tipos de cuñas o chavetas .....	33
Figura 16. Chaveta paralela o longitudinal .....	33
Figura 17. Chaveta media luna o woodruff.....	34
Figura 18. Chaveta con cabeza o cónica.....	34
Figura 19. Fuerzas que intervienen en una cuña o chaveta.....	36
Figura 20. Geometría de cuña o chaveta.....	37
Figura 21. Rodamiento de bolas y sus partes.....	38
Figura 22. Rodamiento de Rodillos esféricos con rótula y sus partes .....	39
Figura 23. Rodamiento de rodios o agujas y sus partes .....	39
Figura 24. Geometría de bandas planas .....	43
Figura 25. Transportadora de tornillo sin fin y sus partes.....	49
Figura 26. Selección de paso de hélice. ....	50
Figura 27. Geometría de los limpiadores .....	52
Figura 28. Área transversal del desmucilagador.....	53
Figura 29. Adaptación de metodología de investigación .....	61
Figura 30. Caja negra o Black box.....	63
Figura 31. Caja transparente o caja blanca. ....	63
Figura 32. Encuesta realizada en la finca «Las Orquídeas» – anexo Señor de los Milagros - Satipo .....	67

Figura 33. Encuesta realizada en la finca «La viña» – anexo Señor de los Milagros – Satipo	68
Figura 34. Black box o caja negra n.º 01 .....	67
Figura 35. Caja transparente o caja blanca n.º 01 .....	68
Figura 36. Concepto de solución 1.....	70
Figura 37. Concepto de solución 2.....	70
Figura 38. Concepto de solución 3.....	71
Figura 39. Selección del paso de helicoide o del tornillo transportador. ....	77
Figura 40. Geometría de los limpiadores- bastidor.....	80
Figura 41. Diagrama de cuerpo libre (bastidor de lavado).....	86
Figura 42. Representación del diagrama de fuerzas DLC.....	87
Figura 43. Diagrama de esfuerzos X-Y .....	87
Figura 44. Diagrama de esfuerzos X-Z.....	88
Figura 45. Diagrama de sensibilidad de muesca q.....	90
Figura 46. Diagrama de sensibilidad de muesca qc .....	91
Figura 47. Geometría rodamiento con cuña cuadrada .....	98
Figura 48. Geometría de cuña o chaveta.....	102
Figura 49. Diagrama de sección transversal de la correa.....	102
Figura 50. Geometría de bandas planas .....	103
Figura 51. Cinturones de cuña envueltos .....	107
Figura 52. Propiedades físicas de la tolva de suministro .....	111
Figura 53. Medidas y ángulo de inclinación de la tolva de diseño .....	113
Figura 54. Tolva de abastecimiento de café.....	113
Figura 55. Ficha técnica de bomba WP 3300 .....	115
Figura 56. Ficha técnica de manguera 3/8 .....	116
Figura 57. Diagrama de esfuerzos, tensión axial y flexión (Von Mises) de la estructura.....	117
Figura 58. Diagrama del desplazamiento de la estructura .....	117
Figura 59. Diagrama determinación del factor de seguridad de la estructura.....	118
Figura 60. Diagrama de esfuerzos, tensión axial y flexión (Von Mises) del bastidor de lavado .....	119
Figura 61. Diagrama del desplazamiento del bastidor de lavado.....	120
Figura 62. Diagrama de la deformación unitaria del bastidor de lavado .....	120
Figura 63. Diagrama determinación del factor de seguridad del bastidor de lavado .....	121
Figura 64. Diagrama de esfuerzos, tensión axial y flexión (Von Mises) de la puerta del bastidor de lavado .....	122
Figura 65. Diagrama del desplazamiento de la puerta del bastidor de lavado.....	123
Figura 66. Diagrama de la deformación unitaria de la puerta del bastidor de lavado.....	123

Figura 67. Diagrama determinación del factor de seguridad de la puerta del bastidor de lavado .....	124
Figura 68. Diagrama de esfuerzos, tensión axial y flexión (Von Mises) del eje y tornillo sin fin .....	125
Figura 69. Diagrama del desplazamiento del eje y tornillo sin fin .....	126
Figura 70. Diagrama de la deformación unitaria del eje y tornillo sin fin .....	126
Figura 71. Diagrama de determinación del factor de seguridad del eje y tornillo sin fin .....	127
Figura 72. Diagrama de esfuerzos, tensión axial y flexión (Von Mises) del sistema de lavado nivel 01 .....	128
Figura 73. Diagrama del desplazamiento del sistema de lavado nivel 01 .....	129
Figura 74. Diagrama de la deformación unitaria del sistema de lavado nivel 01 .....	129
Figura 75. Diagrama determinación del factor de seguridad del sistema de lavado nivel 01 .....	130
Figura 76. Diagrama de esfuerzos, tensión axial y flexión (Von Mises) del sistema de lavado nivel 02 .....	131
Figura 77. Diagrama del desplazamiento del sistema de lavado nivel 02 .....	132
Figura 78. Diagrama de la deformación unitaria del sistema de lavado nivel 02 .....	132
Figura 79. Diagrama de determinación del factor de seguridad del sistema de lavado nivel 02 .....	133
Figura 80. Diagrama de esfuerzos, tensión axial y flexión (Von Mises) de la tolva de suministro .....	134
Figura 81. Diagrama del desplazamiento de la tolva de suministro .....	135
Figura 82. Diagrama de la deformación unitaria de la tolva de suministro .....	135
Figura 83. Diagrama de determinación del factor de seguridad de la tolva de suministro ....	136
Figura 84. Sistema vertical de lavado de café fermentado con recirculación de agua.....	137
Figura 85. Plano explosión - sistema de lavado vertical de café .....	138
Figura 86. Plano detalle-sistema de lavado vertical de café .....	139
Figura 87. Eje del sistema vertical de lavado de café .....	139
Figura 88. Compra y almacenamiento de materiales .....	140
Figura 89. Soldado y ensamble de la estructura.....	140
Figura 90. Trazado de medidas y corte de materiales del cilindro de lavado .....	141
Figura 91. Soldado y ensamble del cilindro de lavado .....	141
Figura 92. Torneado y fresado del eje de lavado y platos de cilindros .....	142
Figura 93. Ensamblaje del eje de lavado con sus componentes.....	142
Figura 94. Ensamblaje del cilindro de lavado con la estructura base .....	143
Figura 95. Corte y soldado de las tolvas .....	143
Figura 96. Ensamblaje del sistema de ingreso y salida del café .....	144

Figura 97. Ensamblaje del sistema de potencia en la estructura .....	144
Figura 98. Ensamblaje del filtro y la bandeja para las aguas mieles.....	145
Figura 99. Ensamblaje de los componentes restantes de la máquina.....	145
Figura 100. Pintado y acabados .....	146
Figura 101. Pruebas en vacío con maíz.....	146
Figura 102. Instalación de la máquina lavadora de café .....	147
Figura 103. Diagrama del proceso de construcción.....	149
Figura 104. Pruebas realizadas con maíz .....	154
Figura 105. Café fermentado .....	155
Figura 106. Inicio de la prueba de lavado de café fermentado – valde vacío. ....	156
Figura 107. Lavado de café fermentado – llenado de valde .....	156
Figura 108. Cálculo del consumo de agua .....	157
Figura 109. Máquina llena de cáscara, después del lavado de café. ....	158
Figura 110. Filtro de la maquina lleno de cascaras de café filtradas .....	158
Figura 111. Granos de café lavados .....	159
Figura 112. Tendido del café lavado 01.....	159
Figura 113. Tendido del café lavado 02.....	160
Figura 114. Foto equipo de trabajo .....	160
Figura 115. Finca «El cafetal», donde se realizaron las pruebas 01. ....	161
Figura 116. Finca «El cafetal», donde se realizaron las pruebas 02. ....	161

## RESUMEN

En la actualidad, la problemática principal en el anexo Señor de los Milagros – Satipo – Junín, se centra en el proceso de lavado de café, debido a la alta demanda de tiempo y consumo de agua. El lavado de café tradicional exige abundante agua, sin embargo, el agua con mucilago que desprende contamina la flora y fauna de los ríos y perjudica la salud de los caficultores, al estar en contacto directo por tiempos prolongados. Es por ello que se planteó el objetivo de diseñar un sistema de lavado vertical con recirculación de agua, con capacidad de 720 kg de granos de café en estado fermentado en el tiempo de una hora, el cual reducirá el consumo de agua, el tiempo de lavado y en especial el riesgo a padecer alguna enfermedad.

Para la ejecución del estudio se utilizó la metodología de diseño, adaptada según las necesidades del trabajo de investigación, comenzando por la problemática de investigación de tecnologías. Se realizó el diseño y selección de los componentes mecánicos que conforman la máquina; continuando con los planos y simulación a través del software SolidWorks y por último validando el proyecto mediante la construcción, resumen de costos, pruebas y resultados.

Finalmente, se concluyó que la máquina será capaz de lavar 12 kg de café en un minuto, lo cual equivaldría a 720kg/h. El sistema de lavado vertical con recirculación de agua es una alternativa viable para dar solución a los problemas de consumo excesivo y contaminación del agua.

**Palabras clave: Lavado, mucilago, café, diseño, recirculación.**

## **ABSTRACT**

Currently, the main problem in the Señor de los Milagros - Satipo - Junín, is centered on the coffee washing process due to the high demand for time and water consumption. Traditional coffee washing requires a lot of water, the water with mucilage that it releases contaminates the flora and fauna of the rivers, and harms the health of the coffee growers when in direct contact with the water for prolonged periods of time. It is for this reason that the objective was to design a vertical washing system with water recirculation with a capacity of 720 kg of coffee beans in fermented state in 1 hour, which will reduce water consumption, washing time and especially the risk of suffering from any disease.

For the development, the design methodology adapted to the needs of the research work was used. Starting with the problem, research of technologies. The design and selection of the mechanical components that make up the machine was carried out. Continuing with the design and simulation drawings through SolidWorks software and finally validating the project through the construction, cost summary, tests and results.

Finally, it is concluded that the machine will be able to wash 12 kg of coffee in 1 minute which would be equivalent to 720kg/h. The vertical washing system with water recirculation is a viable alternative to solve the problems of excessive consumption and water contamination.

**Keywords: Washing, mucilage, coffee, design, recirculation.**



## INTRODUCCIÓN

Esta propuesta se plantea a partir de la necesidad de desarrollar un sistema, el cual pueda lavar granos de café, filtrar y reutilizar las aguas contaminadas, reduciendo tiempos en comparación al trabajo manual y facilitar el trabajo a los caficultores del Anexo de Señor de los Milagros. No existen muchos estudios sobre este tipo de proceso que permitan compararlo con otros, pudiendo así tener más referencias acerca del sistema de lavado de café.

El presente trabajo tiene por objetivo diseñar y fabricar un sistema de lavado que permita lavar granos de café en estado fermentado y reutilizar el agua contaminada luego de un proceso de filtrado, facilitando el trabajo de los productores de café al disminuir el trabajo pesado, ahorrando tiempo de lavado y permitiendo crear un sistema que sea óptimo para el procesamiento del café desde su etapa de fermento hasta llegar al consumidor final.

La importancia que reviste este trabajo de investigación se encuentra en el desarrollo de un sistema de lavado que permita la reducción del consumo de agua y consecuentemente disminuir el impacto ambiental generado por los subproductos del proceso de lavado del grano de café.

El primer capítulo desarrolla el planteamiento del problema, los objetivos y la justificación de la investigación.

El segundo capítulo presenta las bases teóricas del estudio, que reúne conceptos y fórmulas, las cuales utilizamos en el desarrollo del trabajo de investigación.

El tercer capítulo explica la metodología utilizada y sus procesos para poder conseguir la selección del concepto de solución.

En el cuarto capítulo se referencia la selección del concepto de solución para lo cual usaremos una lista de exigencias, caja negra y blanca para definir nuestra secuencia de procesos, la matriz morfológica y un análisis técnico económico. También procedemos al desarrollo de los cálculos y selección de elementos necesarios para el lavador de café.

En el quinto capítulo se detalla el diseño, los planos de fabricación y la simulación de esfuerzos en el software CAD SolidWorks.

Finalmente, se plantean las conclusiones con base en los cálculos y resultados obtenidos en las pruebas de campo, se determina que el sistema de lavado vertical es capaz de lavar 14 kg de café en un minuto, lo cual equivaldría a 840kg/h. El sistema de lavado vertical

con recirculación de agua es una alternativa viable para dar solución a los problemas de consumo excesivo y contaminación del agua.

## CAPÍTULO I

### PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO

#### 1.1 Planteamiento y formulación del problema

En la selva central, los cafetaleros cultivan uno de los mejores granos de café del país y del mundo. Además de constituirse en una de las más importantes fuentes de ingresos permanentes, el café se ha convertido en factor de cambio para estas familias dedicadas a su producción (1). «En junio de 2019, la producción de café nacional totalizó 96 mil 334 toneladas y se incrementó en 4,2 % al compararlo con similar mes del año 2018», como se muestra en la Figura 1 (2).

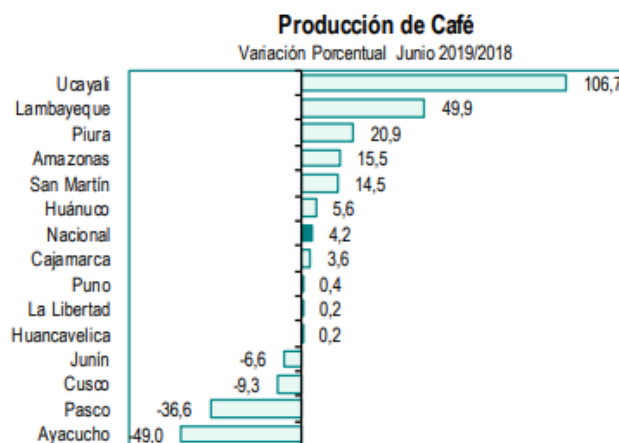


Figura 1. Producción de café 2018 - 2019

Tomado de Ministerio de Agricultura y Riesgos (2).

El agua es un recurso natural que continuamente se agota por los cambios climáticos y su uso indiscriminado, de esta manera es necesario proteger y desarrollar nuevas alternativas para un uso más adecuado del líquido elemento. Durante el transcurso de estos últimos 30 años se ha perdido 22 % de nuestra superficie glaciar, equivalente al 71 % de los glaciares tropicales de todo el mundo. Esta pérdida equivale

a 7000 millones de metros cúbicos de agua, que representa al consumo de la población limeña durante 10 años (3).

En la actualidad, los agricultores del rubro cafetalero realizan el proceso de lavado del café en tinas o piscinas de agua (lavado artesanal) con un gran consumo necesario de agua, el cual consiste en separar el mucílago y otras impurezas del grano del café como se muestra en la Figura 2 (4).



*Figura 2.* Lavado artesanal de café

Tomado de hoja de café hojarasca (4).

Una dificultad de los productores de café en la provincia de Satipo se relaciona con el escaso recurso acuífero en temporadas de verano, en las cuales se desarrollan las principales etapas del procesamiento del café. Para poder realizar el lavado del producto se necesitan en promedio 20 a 30 litros de agua por kilogramo de café pergamino seco (5), lo cual nos indica que para este tipo de proceso se requiere una cantidad exorbitante de agua.

Otra problemática son los residuos que genera el proceso de lavado artesanal de café, estos residuos, mejor conocidos como aguas mieles, generalmente son vertidos a los ríos o acequias de alrededor, contienen una gran carga contaminante debido al grado de acidez, contenido de sólidos y Demanda Química de Oxígeno (DQO), que desarrolla una gran inestabilidad en el ecosistema receptor y en sus componentes (6), generando así un impacto ambiental perjudicial para el medio ambiente.

La presente investigación propone fabricar y diseñar una máquina lavadora de café con un sistema que permita reducir y reutilizar de manera eficiente el agua, disminuir el trabajo pesado y ahorrar tiempo de lavado, generando así una opción verosímil y afable para medio ambiente y para los caficultores de la zona.

### **1.1.1 Problema general**

- ¿Cómo diseñar y desarrollar un sistema vertical de lavado de café fermentado con recirculación de agua para los productores del anexo Señor de los Milagros – Satipo – Junín?

### **1.1.2 Problema específico**

- ¿Cómo evaluar las deficiencias del proceso tradicional de lavado de café en el anexo Señor de los Milagros – Satipo – Junín?
- ¿De qué manera se diseñará un sistema vertical de lavado de café fermentado con recirculación de agua?
- ¿Cómo desarrollar el prototipo del sistema vertical de lavado de café fermentado con recirculación de agua?
- ¿Cómo validar el funcionamiento del sistema vertical de lavado de café fermentado con recirculación de agua, para los productores del anexo Señor de los Milagros – Satipo – Junín?

## **1.2 Objetivos**

### **1.2.1 Objetivo general**

- Diseñar y desarrollar un sistema vertical de lavado de café fermentado con recirculación de agua para los productores del anexo Señor de los Milagros – Satipo – Junín.

### **1.2.2 Objetivos específicos**

- Evaluar las deficiencias del proceso tradicional del lavado de café en el anexo Señor de los Milagros – Satipo – Junín.
- Diseñar un sistema vertical de lavado de café fermentado con recirculación de agua.
- Desarrollar el prototipo del sistema vertical de lavado de café fermentado con recirculación de agua.
- Validar el funcionamiento del sistema vertical de lavado de café fermentado con recirculación de agua, para los productores del anexo Señor de los Milagros – Satipo – Junín.

## **1.3 Justificación**

### **1.3.1 Justificación teórica**

El trabajo de investigación aporta conocimientos para el proceso de lavado de café, mediante lo cual se reduce en gran medida el consumo de agua respecto al método tradicional en que generalmente se consume de 20 a 30 litros de agua por kilogramo de café (5), también reduce considerablemente el tiempo en que se realiza esta tarea. En la investigación podemos evidenciar el desarrollo de cálculos matemáticos para el diseño y selección de materiales del sistema mecánico, los cuales fueron corroborados y validados con el diseño y análisis de simulación realizados con el programa SolidWorks. Así mismo, se cumple con los estándares de confiabilidad teniendo en cuenta el factor de seguridad.

### **1.3.2 Justificación práctica**

La máquina lavadora de café será prototipada para validar el diseño y demostrar que remueve el mucilago de los granos de café quitando la cáscara remanente del despulpado, el mucilago de los granos de café fermentado y reutiliza un porcentaje de agua de lavado. Así, el proceso minimizará la mano de obra del caficultor, beneficiando su salud, economía y tiempo dedicado al proceso de lavado del grano.

### **1.3.3 Justificación ambiental**

El desarrollo de este proyecto de investigación reducirá la contaminación generada por el agua de lavado o aguas mieles, las cuales son vertidas en afluentes de agua o ríos, que generan malos olores, asfixian a los peces, modifican el PH del agua y afectan al crecimiento de plantas. La máquina reducirá el consumo de agua de 40 litros por kg de café de manera artesanal a 0.8 litros de agua por kg de café. Asimismo, el agua miel podrá ser dirigida a una fosa para su control.

### **1.3.4 Justificación económica**

Debido a que es un sistema compacto, no requiere modificar el área de su instalación o preparación de ambientes, fácil de transportar, bajo costo de mantenimiento y a su vez evita los gastos de operación como el pago de un personal capacitado para operar la máquina, ya que cuenta con un sistema operativo simple y de fácil uso, lo cual la hace una alternativa fiable.

## **CAPÍTULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

#### **2.1 Antecedentes del problema**

##### **2.1.1 Antecedentes internacionales**

- En la tesis de Guanín Vera (7) titulada «Diseño de una máquina desmucilaginadora de cacao», se menciona que un gran problema es la falta de aprovechamiento del mucilago del cacao y su dificultad para separarlo de los granos, por ello la propuesta nace de buscar alternativas que reemplacen la manera artesanal, mejoren los tiempos y reduzcan costos. Este proyecto está orientado al mejoramiento del diseño de un sistema mecánico agroindustrial que permita la obtención del mucílago de cacao de manera higiénica y óptima, lo que posibilita obtener el máximo del producto. Para ello se realizaron análisis de distintos tipos de materiales con los que se fabrican las máquinas desmucilaginadoras y bajo qué normas y especificaciones están dispuestas, también se analizaron los costos con los que serían fabricadas. El objetivo consiste en facilitar y optimizar la obtención del mucílago, disminuyendo el trabajo físico y el tiempo de demora para la separación de este de los granos de cacao, a través de un sistema giratorio de mallas metálicas que separan el subproducto de manera eficiente. Se determinó que diversas piezas de la máquina deben ser fabricadas en acero inoxidable, ya que están en contacto directo con productos de grado alimenticio, esto gracias a la norma 14159. Esta investigación nos aporta información sobre las dimensiones de diseño de un tambor de desmucilaginado como se observa en la Figura 3.

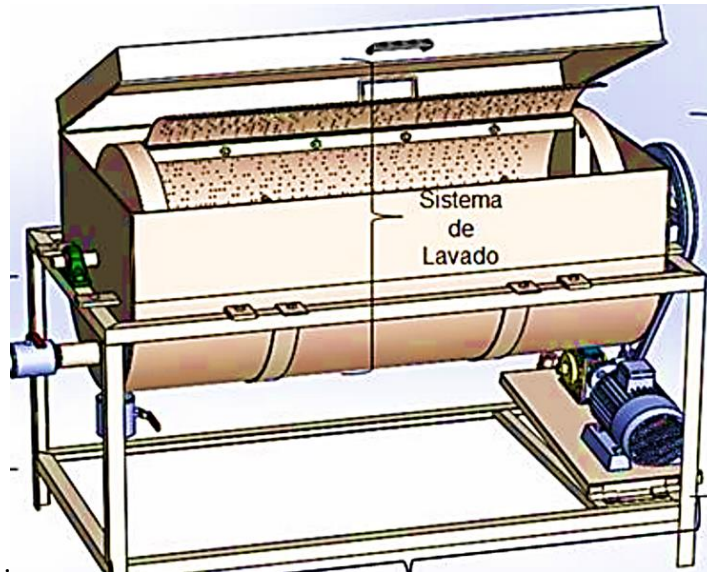


*Figura 3.* Diseño de una máquina desmucilagadora de cacao

Tomado de Guanín Vera (7).

- En la tesis de Avalos Abrahantes (8) titulada «Diseño de prototipo de máquina para el lavado de granos de sorgo (mls-2019.versión 1.0)», la problemática parte de mejorar el proceso de lavado artesanal de sorgo, debido a que es muy lento y demanda demasiada agua, por ello nace la necesidad de automatizar y mecanizar el proceso para su mejora. Utilizado para producir harina en la industria alimentaria, el proyecto de investigación fabricó un prototipo de lavado cíclico, enfocado a la tecnología de procesado de sorgo desde la perspectiva de diseño, abordando el problema principal de la limpieza y optimización del trabajo a través de un sistema automatizado. Para ello se realizaron análisis bibliográficos de los distintos procesos y máquinas para procesar sorgo, según estos datos se establecieron los requisitos y características de la máquina para posteriormente diseñarla en el software SolidWorks. Se concluyó que la máquina tiene una capacidad de 46 kg y será fabricada en acero inoxidable AISI 304. Gracias a este proyecto podremos tener más información acerca de un lavador de granos de manera horizontal, como podemos observar en la Figura 4.





*Figura 4.* Diseño de prototipo de máquina para el lavado de granos de sorgo (MLS-2019. Versión 1.0) utilizado para producir harina en la industria alimentaria

Tomado de Avalos Abrahantes (8).

- En la tesis de Castro Herrera y Chaguamate Sigüencia (9) titulada «Diseño y simulación de un prototipo de máquina desmucilagadora de café», con el objetivo de crear productos 100 % nacionales, surge la necesidad de crear una maquinaria fabricada y diseñada en Ecuador para cafés de especialidad. Este proyecto está direccionado al desarrollo de una desmucilagadora de café, la cual permitirá utilizar un litro de agua por cada kilogramo de café cerezo, el funcionamiento de la máquina se lleva a cabo a través de un eje vertical. Tiene el objetivo de fortalecer la producción de cafés especiales que beneficiará a 120 productores. Se realizó el análisis de diversas soluciones, se hicieron cálculos y simulaciones de los principales componentes que conforman la máquina, mediante el uso del software SolidWorks se diseñó la estructura principal. El proyecto concluye que, al girar el rotor con mayor rapidez, la tasa de remoción de mucílago aumenta, debido al alineamiento de los granos de café, también se concluyó que la máquina utiliza un litro de agua por kilo de café en vez de los 120 litros que se acostumbra usar para este proceso. Esta investigación aporta información con la que podemos mejorar y disminuir el consumo de agua en un lavador mecánico de café, también aporta información sobre los elementos mecánicos que intervienen en el desmucilagado de café y sobre el diseño de tolvas por gravedad como podemos observar en la Figura 5.



*Figura 5.* Diseño y simulación de un prototipo de máquina desmucilagadora de café

Tomado de Castro Herrera y Chaguamate Sigüencia (9).

### **2.1.2 Antecedentes nacionales**

- En la investigación de Chavarría Castrejón y Piscoya Catón (10) titulada «Diseño de una máquina desmucilagadora automatizada para café con capacidad de 500 kg/h», con la necesidad de economizar el agua y disminuir el tiempo de lavado de café, se genera el problema de si sería factible diseñar una máquina desmucilagadora de café. El diseño propone un sistema en el cual la máquina permite ahorrar una cierta cantidad de agua y electricidad a la vez, debido a que cuenta con un sensor ultrasónico que tiene la capacidad de detectar el contenido de los granos de café en la tolva y por lo tanto se active el motor y la electroválvula que permite el ingreso del agua al sistema de desmucilagado, el sistema cuenta con una tarjeta Arduino uno. Se determinó que para el diseño de la máquina se utilizó la tecnología DESLIM, cuenta con una capacidad de 500 kg/hora y utiliza un motor de 2 hp, también se concluye que sí es factible su construcción, debido a que es viable económicamente y beneficiará en gran medida al agricultor. Esta invención aporta conocimientos e ideas a nuestra investigación sobre cómo podríamos utilizar la automatización mediante Arduino y sensores para poder optimizar procesos.
- En la tesis de Callupe Espinoza (11) titulada «Optimización de los parámetros geométricos de una lavadora de quinua, usando el método de piv. geometrical parameters optimization of quinoa washing machine using piv» (11), la caída de precios de la quinua afecta en gran manera a los agricultores, quienes están optando por comercializar la quinua lavada que duplica el precio de la quinua sin lavar, por ello nace la problemática de cómo se podría desarrollar una lavadora de baja

capacidad orientada a pequeños productores. Con el objetivo de optimizar los parámetros de diseño de una lavadora de quinua, mediante el método de velocimetría por imágenes de partículas, que logre una remoción significativa de saponina de la quinua apta para el consumo humano, se diseñó un prototipo de máquina lavadora a base de un tambor de acrílico, el cual se enfoca al análisis del comportamiento de los granos de quinua con el agua para garantizar una limpieza más minuciosa y que a su vez es impulsada por una energía no convencional y de bajo costo. Se concluyó que la relación agua-quinua para el lavado es 1:1, la velocidad angular óptima es de 60 rpm, con la cual se consigue el mayor desprendimiento de saponina en los granos de quinua y si se aumentase esta velocidad reduciría la interacción de las partículas, ocasionando que no se laven bien los granos. Esta investigación brinda información sobre el diseño del cilindro de lavado y una posible descripción, en la que se pueda adaptar para poder funcionar con una energía no convencional, como podemos ver en la Figura 6.

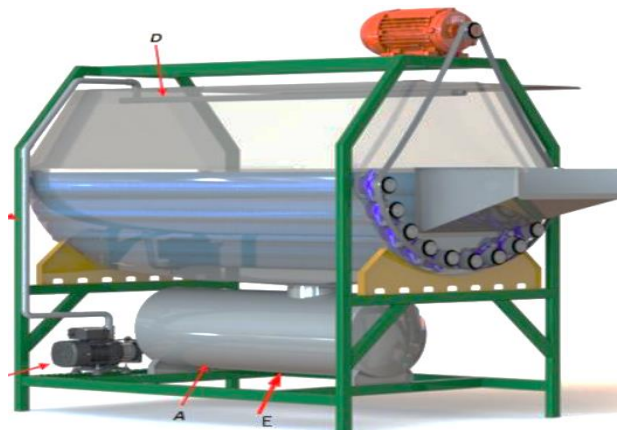


*Figura 6.* Optimización de los parámetros geométricos de una lavadora de quinua, usando el método de PIV

Tomado de Callupe Espinoza (11).

- En la tesis de Barreto Castillo y Custodio Agapito (12) titulada «Diseño de una máquina automatizada, para el lavado de zanahoria, en el centro poblado menor de Callanca, distrito de Monsefú, departamento de Lambayeque», el lavado de zanahoria, al realizarse manualmente, desperdicia agua y no es muy eficiente, ya que los trabajadores solo pueden lavar 180 kg al día, por esta razón nace el problema de cómo una máquina automatizada, lavadora de zanahoria, podría disminuir el tiempo de lavado y el esfuerzo físico de las personas. El trabajo está enfocado al diseño de un sistema automatizado para una planta procesadora de zanahorias, con una capacidad de 10 toneladas/hora, accionado a través de un sistema electro

neumático controlado por PLC, que permite examinar el sistema de lavado, el cual se divide en los siguientes procesos: Remojado, lavado – limpieza y transporte al área de tendales. Se realizaron cálculos para poder determinar la fuerza de fregado para el proceso de lavado, así como los cálculos y selección de componentes mecánicos, el estudio de esfuerzos en el software SolidWorks para identificar los elementos más críticos. Se determinó que la producción de un agricultor es de 35 sacos de zanahoria por día, lo cual representa 6300 kg de zanahoria diarios, por lo que la capacidad de lavado resulta en 787.5 kg/h. Mediante un dinamómetro, se determinó que la fuerza óptima para la zanahoria sería de 49N y la cerda más adecuada para el lavado sería la de escobilla de zapatos de cerda gruesa, también se determinó que el consumo de agua en el lavado manual para 23 kg de zanahoria es de 40 litros de agua, entonces, lavar 800 kg de zanahoria representaría un consumo de agua de 1.39 m<sup>3</sup>, a diferencia de la máquina, que solo utilizaría 0.643 m<sup>3</sup> de agua, con un ahorro del 53.8 % de agua. Este proyecto nos brinda ideas y conocimientos para poder aplicarlas en el mecanismo de lavado, sobre todo su sistema de lavado horizontal de zanahorias, como se puede observar en la Figura 7.



*Figura 7.* Diseño de una máquina lavadora de zanahorias

Tomado de Barreto Castillo y Custodio Agapito (12).

## **2.2 Bases teóricas**

### **2.2.1 Café**

Los granos de café son uno de los primeros productos peruanos de exportación y es el Perú el noveno país exportador de café arábica y robusta en el mundo, después de México. También es el quinto exportador a nivel del mundo de café arábica, después de Honduras (13). «El Perú posee 425,416 hectáreas de cultivo de café, las cuales representan el 6 % del área agrícola nacional. El potencial de crecimiento del café en

el país es de alrededor de 2 millones de hectáreas», como se muestra en las Tablas 1 y 2 (14).

Tabla 1. *Producción de café arábica (miles de sacos de 60 kg)*

PAISES	2014/2015	2015/2016	2016/2017	2017/2018	2018/2019	2019/2020 ( Dic)
<b>Total Arábica</b>	<b>86 608</b>	<b>86 340</b>	<b>101,526</b>	<b>94 045</b>	<b>103 883</b>	<b>95 765</b>
Brazil	37 300	36 100	45 600	38 500	48 200	39 900
Colombia	13 300	14 000	14 600	13 825	13 870	14 300
Ethiopia	6 475	6 510	6 943	7 055	7 250	7 350
Honduras	5 100	5 300	7 510	7 600	7 200	6 500
<b>Perú</b>	<b>2 900</b>	<b>3 500</b>	<b>4 225</b>	<b>4 375</b>	<b>4 400</b>	<b>4 500</b>
Mexico	2 980	2 125	3 100	3 800	3 600	4 350
Guatemala	3 125	3 125	3 400	3 600	3 700	3 500
Nicaragua	2 100	2 100	2 600	2 700	2 600	2 300
China	2 125	1 900	1 800	1 925	2 200	2 300
Costa Rica	1 400	1 625	1 300	1 525	1 300	1 375
Otros paises	9 803	10 055	10 448	9 140	9 563	9 390

Tomado de Ministerio de Agricultura y Riego (COMMODITIES) 2020 pág. 3 (13).

Tabla 2. *Producción total de café (arábica y robusta - miles de sacos de 60 kg)*

PAISES	2014/2015	2015/2016	2016/2017	2017/2018	2018/2019	2019/2020 ( Dic)
<b>Total de café</b>	<b>153 816</b>	<b>152 939</b>	<b>161 704</b>	<b>158 631</b>	<b>174 640</b>	<b>169 330</b>
Brazil	54 300	49 400	56 100	50 900	64 800	58 000
Vietnam	27 400	28 930	26 700	29 300	30 400	32 225
Colombia	13 300	14 000	14 600	13 825	13 870	14 300
Indonesia	10 470	12 100	10 600	10 400	10 600	10 700
Ethiopia	6 475	6 510	6 943	7 055	7 250	7 350
Honduras	5 100	5 300	7 510	7 600	7 200	6 500
India	5 440	5 800	5 200	5 266	5 170	5 160
Mexico	3 180	2 300	3 300	4 000	3 800	4 550
<b>Perú</b>	<b>2 900</b>	<b>3 500</b>	<b>4 225</b>	<b>4 375</b>	<b>4 400</b>	<b>4 500</b>
Uganda	3 550	3 650	5 200	4 350	4 800	4 250
Otros paises	21 701	21 449	21 326	21 560	22 350	21 795

Tomado del Ministerio de Agricultura y Riego (COMMODITIES) 2020 pág. 3 (13).



Figura 8. Cosecha de granos de café.

Tomado de Agro Negocios Perú (15).

### 2.2.2 Proceso productivo del café

Se recolectan las semillas «cerezas» rojas o amarillas, se remojan para lavarlas y quitarles las capas, el despulpado se debe realizar seis horas posteriores a la recolección mediante una máquina despulpadora, el zarandeo o seleccionado para poder separar los granos que no se han despulpado. Posterior a este proceso, se debe hacer fermentar el café en los tanques de fermentación de 12 a 20 horas hasta obtener una textura rugosa, seguido se realiza un lavado del café fermentado de 2 a 3 veces. En la clasificación se determina las calidades del café, el secado se puede hacer de manera artificial o en tendales volteándolos periódicamente durante el día. Se debe almacenar el café en costales limpios en lugares secos y ventilados sobre tarimas.

Para el proceso de transformación se utilizan diversas máquinas, para empezar la pilladora o trilladora que realiza la labor de pelado del café; la tostadora, la cual somete al café a temperaturas de 180° a 200° C, pasando a una máquina enfriadora, seguidamente a un molino y finalmente al envasado.

### 2.2.3 Características morfológicas del café

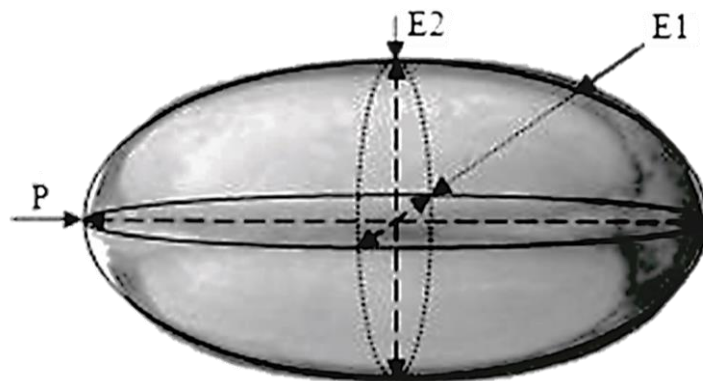


Figura 9. Dimensiones ortogonales de un grano de café pergamino

Tomada de «Evaluación de propiedades físicas y mecánicas de café» (16).

Las características y propiedades físicas del café, como se observa en las Tablas 3, 4, 5 y 6 dependerán de la etapa del procesado del café como: Cosecha (extraer el café de la planta), desculpado (pelado del café), fermentado, lavado, secado y tostado. En las Tablas 3 al 6, podemos observar algunas propiedades físicas y variables del café en su estado café lavado y pergamino seco.

Tabla 3. *Promedios y coeficientes de variación para las variables de café pergamino seco.*

Variable	Época de cosecha	Promedio	C.V. (%)
Total defectos (%)	Inicio	4,32 A	56,28
	Intermedio	3,78 A	60,62
	Final	4,70 A	77,31
Densidad aparente (kg m <sup>-3</sup> )	Inicio	390,45 A	3,05
	Intermedio	381,25 A	3,33
	Final	385,56 A	3,90
Humedad (%)	Inicio	12,04 A	9,20
	Intermedio	11,08 B	5,16
	Final	10,63 B	10,18
Peso (g)	Inicio	0,21 A	17,90
	Intermedio	0,21 A	18,89
	Final	0,20 B	20,05
Ancho (mm)	Inicio	8,45 A	7,70
	Intermedio	8,45 A	8,64
	Final	8,40 A	8,10
Largo (mm)	Inicio	11,80 B	7,77
	Intermedio	11,89 A	8,69
	Final	11,91 A	8,23
Relación cereza:pergamino	Inicio	4,76 A	2,84
	Intermedio	4,96 A	4,70
	Final	4,94 A	5,42
Relación baba:pergamino	Inicio	2,65 A	1,99
	Intermedio	2,74 A	4,21
	Final	2,74 A	6,04
Relación lavado:pergamino	Inicio	1,93 B	3,55
	Intermedio	1,98 AB	2,31
	Final	2,02 A	3,23

Tomado de «Caracterización de algunas propiedades físicas y factores de conversión del café durante el proceso de beneficio húmedo tradicional», pág. 15 (17).

Tabla 4. *Promedios y coeficientes de variación para las variables de café lavado*

Variable	Época de cosecha	Promedio	C.V. (%)
Densidad aparente (kg.m <sup>-3</sup> )	Inicio	698,51 A	1,91
	Intermedio	688,78 A	1,98
	Final	693,69 A	1,68
Humedad (%)	Inicio	51,17 A	3,58
	Intermedio	51,51 A	2,14
	Final	51,49 A	4,48
Peso (g)	Inicio	0,40 A	18,05
	Intermedio	0,40 A	20,16
	Final	0,37 B	21,73
Ancho (mm)	Inicio	8,57 B	8,17
	Intermedio	8,75 A	7,62
	Final	8,57 B	8,59
Largo (mm)	Inicio	12,14 B	9,52
	Intermedio	12,34 A	8,60
	Final	12,19 B	8,89
Relación cereza:lavado	Inicio	2,46 A	4,15
	Intermedio	2,49 A	6,29
	Final	2,44 A	7,43
Relación baba:lavado	Inicio	1,37 A	3,74
	Intermedio	1,38 A	5,32
	Final	1,35 A	7,93

Tomado de «Caracterización de algunas propiedades físicas y factores de conversión del café durante el proceso de beneficio húmedo tradicional», pág. 13 (17).

Tabla 5. *Coefficientes de fricción, variación, límites de confianza en grano de café pergamino seco*

Tratamiento	Límites de confianza para la media					
	CFM	CV (%)	I(0,05)	S(0,05)	I(0,01)	S(0,01)
Metal	.56	11.56	.53	.59	.52	.60
Concreto (fraguado en contacto con formaletas de madera).	1.55	10.12	1.47	1.62	1.45	1.65
Alfagres.	1.02	13.34	.96	1.09	.94	1.11
Mayólica.	.97	13.60	.90	1.03	.88	1.05
P V C	.36	6.94	.35	.37	.34	.38
Madera cepillada (fibra perpendicular al flujo de grano).	.39	12.03	.37	.42	.36	.42
Madera cepillada (fibra paralela al flujo de grano).	.45	22.76	.40	.50	.38	.51
Madera tosca (fibra perpendicular al flujo de grano).	1.20	22.68	1.07	1.32	1.02	1.37
Madera tosca (fibra paralela al flujo de grano)	1.30	17.62	1.18	1.41	1.13	1.46

Tomado de «Coeficiente de fricción, ángulo de reposo y densidades aparentes de granos de café Coffe arábica variedad caturra», pág. 10 (18)

Tabla 6. *Coefficientes de fricción, variación, límites de confianza en grano de café lavado*

Tratamiento	Límites de confianza para la media					
	CFM	CV (%)	I(0,05)	S(0,05)	I(0,01)	S(0,01)
Metal	.67	14.32	.62	.72	.60	.73
Concreto (fraguado en contacto con formaletas de madera).	1.16	14.32	1.08	1.24	1.05	1.26
Alfagres.	.92	11.61	.87	.97	.85	.99
Mayólica.	.88	12.66	.83	.94	.81	.96
P V C	.60	6.89	.58	.62	.57	.62
Madera cepillada (fibra perpendicular al flujo de grano).	1.21	11.47	1.15	1.28	1.12	1.30
Madera cepillada (fibra paralela al flujo de grano).	1.08	11.36	1.02	1.13	1.00	1.15
Madera tosca (fibra perpendicular al flujo de grano).	1.25	13.74	1.16	1.34	1.13	1.37
Madera tosca (fibra paralela al flujo de grano).	1.20	17.70	1.10	1.30	1.06	1.34

Tomado de «Coeficiente de fricción, ángulo de reposo y densidades aparentes de granos de café Coffe arábica variedad caturra», pág. 10 (18).

## 2.2.4 Sistema de lavado vertical o flujo ascendente

Este tipo de sistema lava café fermentado desprendiendo el mucílago a medida que sube por el cilindro, se inyectan cantidades de agua mediante rociadores, los cuales lavan los granos de café, las mieles son expulsadas por las aberturas de la canastilla, el



sistema vertical es uno de los métodos más eficientes para lavar café, como se puede observar en la Figura 10.



*Figura 10.* Máquina de beneficio de café vertical

Tomado de Firma.co (19).

### **2.2.5 Sistema de lavado horizontal de cepillos**

Es uno de los sistemas más comunes en la industria para el lavado de café, ya que sus elementos no son muy complejos. El grano circula dentro de la máquina y es sometido a un efecto de fricción entre las paredes, los cepillos y los mismos granos, las mieles expulsadas caen mediante la gravedad y son expulsadas por conductos. Uno de sus mayores inconvenientes es que el lavado no es muy eficiente, ya que al encontrarse en una posición horizontal el agua que lava los granos cae por gravedad solo por ciertas regiones de la lavadora, haciendo que esta se desperdicie, como se muestra en la Figura 11.



*Figura 11.* Lavadoras de café de un disco

Tomado de «Catálogo de maquinaria para procesamiento de café», MINAGRI, pág. 36 (20).

### 2.2.6 Lavado de café en piscinas

Después del fermentado de los granos de café, se procede a transportarlo a las pilas o piscinas para el lavado de café. Después de llenar las piscinas de agua, se procede a batir con un palo o bastón para remover el mucílago y seleccionar el grano de café por densidad, luego se cambia el agua sucia y así sucesivamente hasta que el café esté limpio, como se muestra en la Figura 12.

Este proceso de lavado consume grandes cantidades de agua, entre 20 y 30 litros por pergamino seco de café (5), el agua sucia (aguas miles) o subproducto es drenada a los ríos o acequias contaminando el medio ambiente.



*Figura 12.* Lavado de café mediante pilas o piscinas

### 2.2.7 Lavado de café por canales de correteo

Luego de la fermentación del café, se utilizan canales de lavado para la eliminación de los granos de café en mal estado o de calidad inferior, los conductos de lavado poseen pequeñas aberturas o barreras de madera por donde se filtra el agua y los granos verdes de café. Con frecuencia los trabajadores utilizan una escoba e implementos hechos de madera para batir y aumentar el flujo de agua.

Los granos de café con mayor peso y de mejor calidad se sumergen en el fondo de los conductos y son retenidos por las barreras de madera; los granos de calidad inferior y de menor peso flotan y son arrastrados por el flujo de agua, posteriormente vendidos al mercado local, como se muestra en la Figura 13.

La estructura de los canales de correteo para el lavado de café nos permite lavar, limpiar y clasificar los granos de café, solo para los beneficiarios que cuentan con un buen suministro de agua, ya que este tipo de lavado de café consume exorbitantes cantidades de agua.



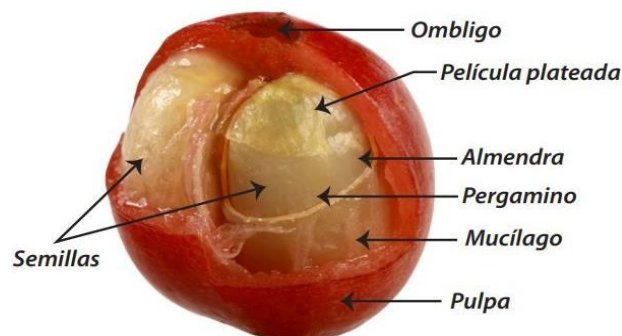
*Figura 13.* Lavado de café mediante canales de correteo

Tomado de PERFECT DAILY GRIND (21).

### 2.2.8 Mucílago y desmucilaginado

El mucílago es una lámina que se encuentra en medio de la almendra o pergamino y la pulpa, formada por entretejidos laminares sin concentración de cafeína o taninos ricos en azúcares y pectinas como se muestra en la Figura 14 (22). Este mucílago es equivalente del 17 al 20 % de peso del fruto fresco y es el responsable del 25 % de la carga contaminante de la cereza. «La pulpa y el mucílago contenidos en un kg de café cereza puede quitar todo el oxígeno a 7400 litros de agua» (9).

El desmucilaginado consiste en separar la baba que lo recubre, del grano de café; se realiza este proceso con el fin de que resulte más fácil secar el grano de café sin disminuir el grado de pureza del mismo por efectos del fermentado. Este procedimiento es muy importante, ya que influye en la calidad del café. Los granos a desmucilagar deben estar previamente fermentados. En la Figura 14, podemos observar las partes de un grano de café.



*Figura 14.* Partes de un grano de café cerezo

Tomado de Café Primero (23).

## 2.2.9 Aguas mieles

En el proceso de beneficio húmedo del café, se utiliza el agua para lavar los granos, estas aguas residuales vienen a ser llamadas aguas mieles, las cuales tienen distintos efectos negativos, dichos datos se muestran en la Tabla 7:

- Agota el oxígeno del agua, perjudicando la vida animal y vegetal.
- Altera la acidez del agua, haciéndola no apta para el consumo humano o agricultura.
- Cambia la apariencia, olor y color del agua e incrementa la temperatura.

Tabla 7. Composición química de las aguas residuales del beneficio de café.

COMPUESTOS	COMPOSICIÓN DEL AGUA MIEL				
	% Concentración	Materia Extraída(Kg/ QQ oro)	Estimado DQO Kg/ QQ oro		
Despulpe	Proteínas	12	0.16	0.25	9.1%
	Taninos	2.4	0.14	0.27	9.8%
	Ácido Clorogénico	2.6	0.28	0.4	14.5%
	Ácido cafeico	0.1	0.01	0.02	0.7%
	Cafeína	1.6	0.29	0.57	20.7%
AGUA	Azúcares	8.3	1.13	1.24	45.1%
	TOTAL	27	2.01	2.75	100%
Lavado	Sustancias Pécicas	36	1.4	1.2	29.5%
	Celulosa	46	1.9	2.04	50.1%
	Azúcares	17	0.7	0.83	20.4%
	TOTAL	99	4	4.07	100%
TOTAL			6.82	Kg DQO/ QQ oro	

Tomado del informe de prácticas pre profesionales de la Universidad Nacional Agraria de la Selva, pág. 17 (24).

## 2.2.10 Diseño de ejes

### 2.2.10.1 Concepto general de ejes

Shigley (25) menciona que no es preciso analizar las fuerzas en cada punto de la barra, solo es necesario determinarlas en ciertos sitios latentemente críticos. Generalmente, estos puntos se ubican en la parte superficial del eje, superficie axial, donde el momento flexionante es superior, el par de torsión se muestra donde convergen las fuerzas. Por cotejo de diferentes criterios a través del eje, donde se

determina las ubicaciones críticas para basarse en el diseño. También se pueden estimar los esfuerzos típicos según las situaciones.

El eje genera par a través de la pieza. El par entra en el eje a través de un engranaje y sale del eje a través de otro engranaje. En condiciones de funcionamiento estable, el par es generalmente constante. Los esfuerzos cortantes causados por la torsión son mayores en las superficies exteriores. Los momentos de flexión alrededor de un eje se pueden determinar usando diagramas de fuerza cortante y momento de flexión. Dado que la mayoría de los ejes están equipados con engranajes o poleas, y la fuerza se aplica en dos planos, el diagrama de momento flector y el diagrama de momento cortante generalmente deben estar en dos planos. El par resultante se obtiene sumando los puntos útiles del eje como vector par.

### 2.2.10.2 Tipo de materiales para eje

Según Shigley, el material utilizado para fabricar el eje determina la carga y el trabajo, comentando que «no es la resistencia lo que cambia la deflexión, sino la rigidez, que se expresa en el módulo de elasticidad y es esencialmente constante para todos los aceros. Debido a esto, la rigidez no puede determinarse por el material, sino solo por la disposición geométrica para soportar la carga, la durabilidad requerida cambia la elección del material y la forma en que se maneja. Muchos ejes están hechos de acero dulce, laminados en frío o en caliente, como se muestra en la Tabla 8 (25).

Tabla 8. *Propiedades mecánicas de aceros al carbono y aceros especiales*

1	2	3	4	5	6	7	8
UNS núm.	SAE y/o AISI núm.	Procesa- miento	Resistencia a la tensión MPA (Kpsi)	Resistencia a la fluencia MPA (Kpsi)	Elongación en 2 pulg, %	Reducción en área, %	Dureza Brinell
G10060	1006	HR	300 [43]	170 [24]	30	55	86
		CD	330 [48]	280 [41]	20	45	95
G10100	1010	HR	320 [47]	180 [26]	28	50	95
		CD	370 [53]	300 [44]	20	40	105
G10150	1015	HR	340 [50]	190 [27.5]	28	50	101
		CD	390 [56]	320 [47]	18	40	111
G10180	1018	HR	400 [58]	220 [32]	25	50	116
		CD	440 [64]	370 [54]	15	40	126
G10200	1020	HR	380 [55]	210 [30]	25	50	111
		CD	470 [68]	390 [57]	15	40	131
G10300	1030	HR	470 [68]	260 [37.5]	20	42	137
		CD	520 [76]	440 [64]	12	35	149
G10350	1035	HR	500 [72]	270 [39.5]	18	40	143
		CD	550 [80]	460 [67]	12	35	163
G10400	1040	HR	520 [76]	290 [42]	18	40	149
		CD	590 [85]	490 [71]	12	35	170
G10450	1045	HR	570 [82]	310 [45]	16	40	163
		CD	630 [91]	530 [77]	12	35	179
G10500	1050	HR	620 [90]	340 [49.5]	15	35	179
		CD	690 [100]	580 [84]	10	30	197
G10600	1060	HR	680 [98]	370 [54]	12	30	201
G10800	1080	HR	770 [112]	420 [61.5]	10	25	229
G10950	1095	HR	830 [120]	460 [66]	10	25	248

Tomado de «Diseño de Ingeniería Mecánica de Shigley», octava edición, pág. 1050 (25).

### 2.2.10.3 Esfuerzo de ejes

Se pueden encontrar esfuerzos de flexión, torsión o axiales tanto en componentes intermedios como alternativos. Para el análisis, es fácil agrupar diferentes tipos de tensiones alternas y tensiones medias de Von Mises. A veces es útil aplicar la ecuación de ajuste para la dirección axial. En los puntos críticos donde dominan la flexión y la torsión, las cargas axiales suelen ser relativamente pequeñas (25).

$$\sigma_a = K_f \frac{M_a C}{I} \quad (1)$$

$$\sigma_m = K_f \frac{M_m C}{I} \quad (2)$$

$$\tau_a = K_{fs} \frac{T_a C}{J} \quad (3)$$

$$\tau_m = K_{fs} \frac{T_m C}{J} \quad (4)$$

Donde:

$M_m$ : Momento flexionante medio

$T_m$ : Momento flexionante alternante

$T_m$ : Par de torsión medio

$T_a$ : Par de torsión alternante

$K_f$ : Factor de concentración del esfuerzo por fatiga de la flexión

$K_{fs}$ : Factor de concentración del esfuerzo por fatiga de la torsión

### 2.2.10.4 Ecuaciones de parámetros y carga de un eje

Los esfuerzos de Von Mises, están dados por:

$$\sigma'_a = (\sigma_a^2 + 3\tau_a^2)^{1/2} = \left[ \left( \frac{32K_f M_a}{\pi d^3} \right)^2 + 3 \left( \frac{16K_{fs} T_a}{\pi d^3} \right)^2 \right]^{1/2} \quad (5)$$

$$\sigma'_m = (\sigma_m^2 + 3\tau_m^2)^{1/2} = \left[ \left( \frac{32K_f M_m}{\pi d^3} \right)^2 + 3 \left( \frac{16K_{fs} T_m}{\pi d^3} \right)^2 \right]^{1/2} \quad (6)$$

El criterio de falla por fatiga, representado por Goodman:

$$\frac{1}{n} = \frac{\sigma'_a}{S_e} + \frac{\sigma'_m}{S_{ut}} \quad (7)$$

La asociación de la teoría de la distorsión y la falla por fatiga por Goodman.

$$\frac{1}{n} = \frac{16}{\pi d^3} \left\{ \frac{1}{S_e} \left[ 4(K_f M_a)^2 + 3(K_{fs} T_a)^2 \right]^{1/2} + \frac{1}{S_u} \left[ 4(K_f M_m)^2 + 3(K_{fs} T_m)^2 \right]^{1/2} \right\} \quad (8)$$

Para diseño, se representa la ecuación para determinar el diámetro:

$$d = \left( \frac{16}{\pi d^3} \left\{ \frac{1}{S_e} \left[ 4(K_f M_a)^2 + 3(K_{fs} T_a)^2 \right]^{\frac{1}{2}} + \frac{1}{S_{ut}} \left[ 4(K_f M_m)^2 + 3(K_{fs} T_m)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \right\} \right)^{1/3} \quad (9)$$

$$\begin{aligned} \sigma'_{max} &= [(\sigma_m + \sigma_a)^2 + 3(\tau_m + \tau_a)^2]^{1/2} \\ &= \left[ \left( \frac{32K_f(M_m + M_a)}{\pi d^3} \right)^2 + 3 \left( \frac{16K_{fs}(T_m + T_a)}{\pi d^3} \right)^2 \right]^{1/2} \quad (10) \end{aligned}$$

Para comprobar el punto de fluencia, se debe comparar el esfuerzo máximo de Von Mises con el punto de fluencia normal.

$$n_y = \frac{S_y}{\sigma'_{max}} \quad (11)$$

«Para una verificación rápida y conservadora, se puede obtener una estimación de  $\sigma'_{max}$  simplemente al sumar  $\sigma'_a$  y  $\sigma'_m$ . El valor de  $(\sigma'_a + \sigma'_m)$  siempre será mayor o igual que  $\sigma'_{max}$ , por lo cual será conservador» (25).

## 2.2.11 Diseño de cuñas o chavetas

### 2.2.11.1 Concepto general

Los elementos giratorios, como engranajes, poleas y ruedas, se sujetan al eje mediante chavetas y pasadores para mantenerlos en su lugar (fijos). Las cuñas se utilizan para transferir el par de un eje a la parte que soporta. Los pasadores se utilizan para posicionamiento axial y para transmitir par y/o empuje. ASME define una chaveta como una pieza mecánica extraíble que, cuando se instala en un chavetero, proporciona un medio eficaz de transmisión de par entre el eje y el cubo (25).

### 2.2.11.2 Tipos de material para cuñas o chavetas

Las cuñas generalmente están hechas de acero dulce trabajado en frío, como SAE o AISI 1020, pero si se requiere una mayor resistencia, se utilizan aceros aleados tratados térmicamente, en la Figura 15 podemos observar los diferentes tipos de cuña.

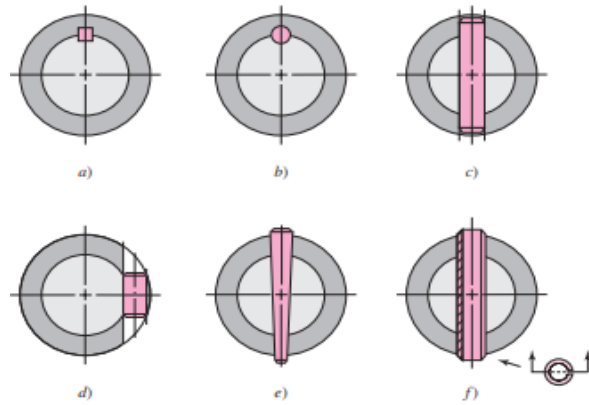


Figura 15. Tipos de cuñas o chavetas

Tomado de «Diseño de Ingeniería Mecánica de Shigley», octava edición, pág. 378 (25).

### 2.2.11.3 Tipos de cuñas o chavetas

#### Chaveta paralela o longitudinal:

Esta es un prisma de acero en forma de cuña, con una sección transversal rectangular o cuadrada, como se muestra en la Figura 16. Puede tener extremos cuadrados. Se utiliza para integrar ejes de transmisión y componentes, permitiendo la transmisión de altos pares de transmisión, ya que no es posible el desplazamiento relativo entre los dos elementos.

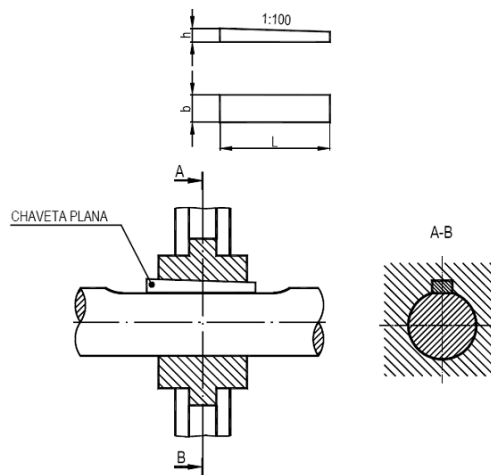


Figura 16. Chaveta paralela o longitudinal

Tomado de «Diseño de Ingeniería Mecánica de Shigley», octava edición, pág. 378 (25).

#### Chaveta media luna o woodruff:

Este es un segmento circular de acero de espesor constante. Su forma semicircular facilita el funcionamiento de la chaveta sobre el eje, pero si es demasiado



profunda afectará la resistencia del eje, por lo que se utiliza cuando el par motor transmitido es pequeño, como se muestra en la Figura 17.

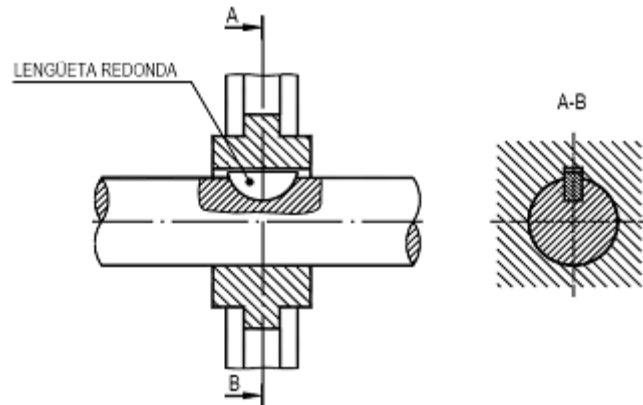


Figura 17. Chaveta media luna o woodruff

Tomado de «Diseño de Ingeniería Mecánica de Shigley», octava edición, pág. 379 (25).

#### **Chaveta con cabeza o cónica:**

La cuña de la cabeza, como se muestra en la Figura, 18 está ahusada para evitar el movimiento axial relativo en instalaciones permanentes. La ventaja es que la posición de la masa se puede ajustar para una alineación axial óptima. La cabeza se puede quitar sin tocar el otro extremo, pero es peligroso si sobresale.

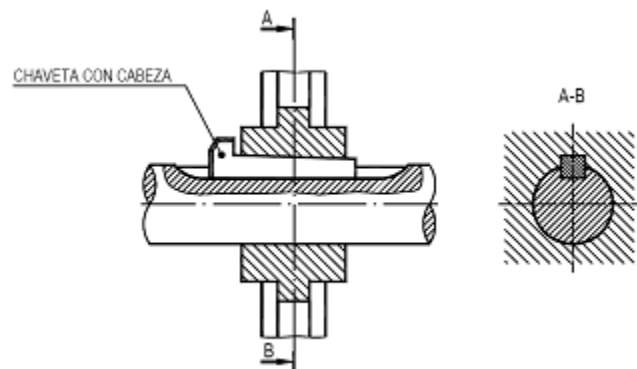


Figura 18. Chaveta con cabeza o cónica

Tomado de «Diseño de Ingeniería Mecánica de Shigley», octava edición, pág. 379 (25).

### 2.2.11.4 Dimensiones en pulgadas de cuñas

Tabla 9. Dimensiones en pulgadas de cuñas cuadradas y rectangulares

Diámetro del eje		Tamaño de la cuña		Profundidad del cuñero
Más de	Hasta (inclusive)	w	h	
$\frac{5}{16}$	$\frac{7}{16}$	$\frac{3}{32}$	$\frac{3}{32}$	$\frac{3}{64}$
$\frac{7}{16}$	$\frac{9}{16}$	$\frac{1}{8}$	$\frac{3}{32}$	$\frac{3}{64}$
		$\frac{1}{8}$	$\frac{1}{8}$	$\frac{1}{16}$
$\frac{9}{16}$	$\frac{7}{8}$	$\frac{3}{16}$	$\frac{1}{8}$	$\frac{1}{16}$
		$\frac{3}{16}$	$\frac{3}{16}$	$\frac{3}{32}$
$\frac{7}{8}$	$1\frac{1}{4}$	$\frac{1}{4}$	$\frac{3}{16}$	$\frac{3}{32}$
		$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{8}$
$1\frac{1}{4}$	$1\frac{3}{8}$	$\frac{5}{16}$	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{8}$
		$\frac{5}{16}$	$\frac{5}{16}$	$\frac{5}{32}$
$1\frac{3}{8}$	$1\frac{3}{4}$	$\frac{3}{8}$	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{8}$
		$\frac{3}{8}$	$\frac{3}{8}$	$\frac{3}{16}$
$1\frac{3}{4}$	$2\frac{1}{4}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{3}{8}$	$\frac{3}{16}$
		$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{4}$
$2\frac{1}{4}$	$2\frac{3}{4}$	$\frac{5}{8}$	$\frac{7}{16}$	$\frac{7}{32}$
		$\frac{5}{8}$	$\frac{5}{8}$	$\frac{5}{16}$
$2\frac{3}{4}$	$3\frac{1}{4}$	$\frac{3}{4}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{4}$
		$\frac{3}{4}$	$\frac{3}{4}$	$\frac{3}{8}$

Tomado de «Diseño de Ingeniería Mecánica de Shigley», octava edición, pág. 379 (25).

### 2.2.11.5 Dimensiones de cuñas woodruff: serie en pulgadas

Tabla 10. Tamaños de cuñas woodruff adecuada para varios diámetros de eje

Ancho de la Ranura, pulg	Diámetro del eje, pulg	
	De	Hasta (Inclusive)
$\frac{1}{16}$	$\frac{5}{16}$	$\frac{1}{2}$
$\frac{3}{32}$	$\frac{3}{8}$	$\frac{7}{8}$
$\frac{1}{8}$	$\frac{3}{8}$	$1\frac{1}{2}$
$\frac{5}{32}$	$\frac{1}{2}$	$1\frac{5}{8}$
$\frac{3}{16}$	$\frac{9}{16}$	2
$\frac{1}{4}$	$\frac{11}{16}$	$2\frac{1}{4}$
$\frac{5}{16}$	$\frac{3}{4}$	$2\frac{3}{8}$
$\frac{3}{8}$	1	$2\frac{5}{8}$

Tomado de «Diseño de Ingeniería Mecánica de Shigley», octava edición, pág. 379 (25).

Tabla 11. Dimensiones de cuñas Woodruff serie en pulgadas

Tamaño de la cuña		Altura	Corrimiento	Profundidad de la ranura	
W	D	b	e	eje	Maza
$\frac{1}{16}$	$\frac{1}{4}$	0.109	$\frac{1}{64}$	0.0728	0.0372
$\frac{1}{16}$	$\frac{3}{8}$	0.172	$\frac{1}{64}$	0.1358	0.0372
$\frac{3}{32}$	$\frac{3}{8}$	0.172	$\frac{1}{64}$	0.1202	0.0529
$\frac{3}{32}$	$\frac{1}{2}$	0.203	$\frac{3}{64}$	0.1511	0.0529
$\frac{3}{32}$	$\frac{5}{8}$	0.250	$\frac{1}{16}$	0.1981	0.0529
$\frac{1}{8}$	$\frac{1}{2}$	0.203	$\frac{3}{64}$	0.1355	0.0685
$\frac{1}{8}$	$\frac{5}{8}$	0.250	$\frac{1}{16}$	0.1825	0.0685
$\frac{1}{8}$	$\frac{3}{4}$	0.313	$\frac{1}{16}$	0.2455	0.0685
$\frac{5}{32}$	$\frac{5}{8}$	0.250	$\frac{1}{16}$	0.1669	0.0841
$\frac{5}{32}$	$\frac{3}{4}$	0.313	$\frac{1}{16}$	0.2299	0.0841
$\frac{5}{32}$	$\frac{7}{8}$	0.375	$\frac{1}{16}$	0.2919	0.0841
$\frac{3}{16}$	$\frac{3}{4}$	0.313	$\frac{1}{16}$	0.2143	0.0997
$\frac{3}{16}$	$\frac{7}{8}$	0.375	$\frac{1}{16}$	0.2763	0.0997
$\frac{3}{16}$	1	0.438	$\frac{1}{16}$	0.3393	0.0997
$\frac{1}{4}$	$\frac{7}{8}$	0.375	$\frac{1}{16}$	0.2450	0.1310
$\frac{1}{4}$	1	0.438	$\frac{1}{16}$	0.3080	0.1310
$\frac{1}{4}$	$1\frac{1}{4}$	0.547	$\frac{5}{64}$	0.4170	0.1310
$\frac{5}{16}$	1	0.438	$\frac{1}{16}$	0.2768	0.1622
$\frac{5}{16}$	$1\frac{1}{4}$	0.547	$\frac{5}{64}$	0.3858	0.1622
$\frac{5}{16}$	$1\frac{1}{2}$	0.641	$\frac{7}{64}$	0.4798	0.1622
$\frac{3}{8}$	$1\frac{1}{4}$	0.547	$\frac{5}{64}$	0.3545	0.1935
$\frac{3}{8}$	$1\frac{1}{2}$	0.641	$\frac{7}{64}$	0.4485	0.1935

Tomado de «Diseño de Ingeniería Mecánica de Shigley», octava edición, pág. 381 (25).

### 2.2.11.6 Esfuerzos en las cuñas o chavetas

Las cuñas tienen dos modos de falla: cortante y contacto, como se muestra en la Figura 19. La falla por corte ocurre cuando la chaveta se corta significativamente en el punto de contacto del eje y el cubo. La falla de presión de contacto ocurre cuando las superficies están enterradas por compresión.

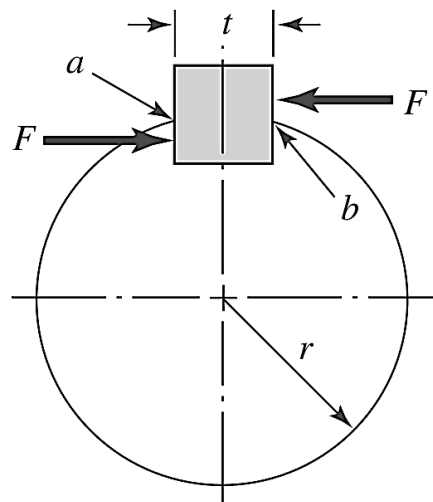


Figura 19. Fuerzas que intervienen en una cuña o chaveta

Tomado de «Diseño de Ingeniería Mecánica de Shigley», octava edición, pág. 382 (25).

**Falla por contacto y de presión por contacto:**

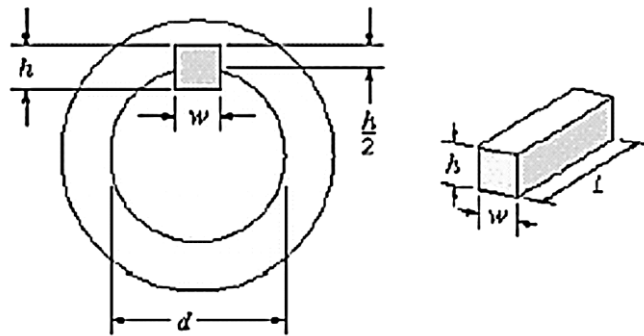


Figura 20. Geometría de cuña o chaveta

Tomado de «Diseño de Ingeniería Mecánica de Shigley», octava edición, pág. 382 (25).

**Falla por contacto:**

$$L = \frac{2 * T * Fs}{D * W * 0.577S_y} \quad (12)$$

Donde:

$L$ : Largo de chaveta

$W$ : Tamaño de cuña

$T$ : Torque

$F_s$ : Factor de seguridad

$S_y$ : Resistencia a la fluencia

$D$ : Diámetro del eje

$$L = \frac{4 * T * F * s}{D * h * S_y} \quad (13)$$

Donde:

$L$ : Largo de chaveta

$h$ : Tamaño de cuña

$T$ : Torque

$F_s$ : Factor de seguridad

$S_y$ : Resistencia a la fluencia

$D$ : Diámetro del eje

## 2.2.12 Diseño de rodamientos

### 2.2.12.1 Concepto general de rodamientos

Según Shigley (25), los términos *rodamientos de contacto rodante*, *rodamientos antifricción* y *rodamientos simples* se utilizan para describir clases de rodamientos en los que la carga principal se transfiere a través de elementos que experimentan contacto rodante en lugar de bloques deslizantes. Para los cojinetes de rodillos, la fricción inicial es aproximadamente el doble de la fricción operativa, pero es insignificante en comparación con la de los cojinetes lisos. La carga, la velocidad y la viscosidad operativa del lubricante afectan las propiedades tribológicas del rodamiento. pero el término se usa comúnmente en la industria.

### 2.2.12.2 Tipos de rodamientos o cojinetes

#### Rodamientos rígidos de bolas:

Los rodamientos rígidos de bolas pueden soportar cargas radiales y axiales moderadas (pequeña fricción, alta precisión, procesamiento suave y silencioso). Por lo tanto, estos rodamientos son adecuados para motores eléctricos pequeños y medianos, en la Figura 21 observamos el rodamiento y sus partes.

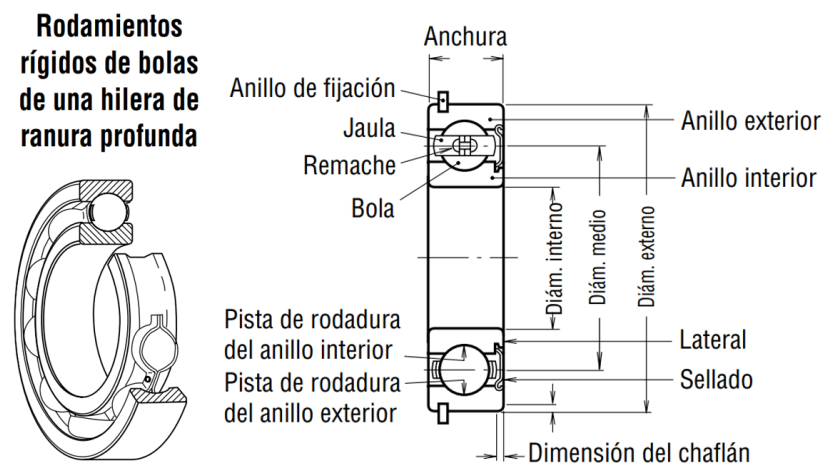


Figura 21. Rodamiento de bolas y sus partes

Tomado del catálogo de rodamientos de NSK, pág. A7 (26).

#### Rodamiento de rodillos esféricos con rótula:

Los rodamientos CARB y los rodillos esféricos pueden transportar cargas extremadamente pesadas y son autoalineables, en la Figura 22 podemos observar sus partes. Estas características los hacen particularmente adecuados para aplicaciones de

ingeniería de equipos pesados, donde ocurren cargas muy altas, desviaciones del eje y desalineaciones.

### Rodamientos de rodillos esféricos

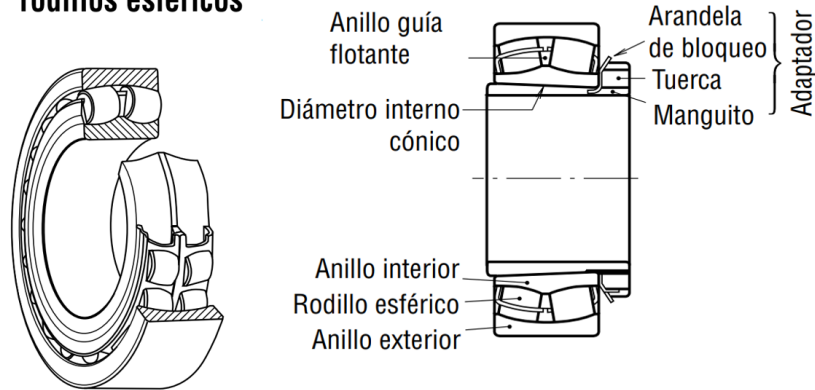


Figura 22. Rodamiento de Rodillos esféricos con rótula y sus partes

Tomado del catálogo de rodamientos de NSK pág. A7 (26).

### Rodamiento de rodillos o agujas:

Los rodamientos de agujas se ensamblan a través de muchos rodillos finos, la longitud de estas agujas es de 3 a 10 veces y tienen una capacidad de carga radial muy alta en comparación a los demás rodamientos. Existen muchas variedades de esta familia de rodamientos, según el trabajo a realizar, en la Figura 23 se muestra el rodamiento y sus partes.

### Rodamientos de agujas

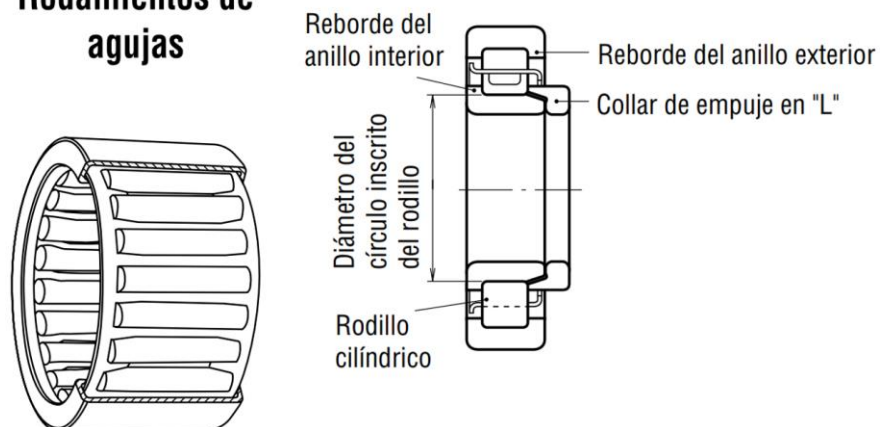


Figura 23. Rodamiento de rodillos o agujas y sus partes

Tomado del catálogo de rodamientos de NSK pág. A7 (26).

### 2.2.12.3 Vida de cojinetes

La fatiga del metal es la única causa de falla cuando los rodamientos están limpios, correctamente lubricados y montados, sellados adecuadamente contra la entrada de polvo y suciedad, mantenidos adecuadamente y funcionando a la temperatura correcta. La medida de la vida útil del cojinete es el número total de revoluciones (u horas de operación a velocidad constante) que el componente realiza antes de cumplir con los criterios de falla por causa única. La vida nominal básica de un grupo de rodamientos de bolas o de rodillos casi idénticos se determina como el número de revoluciones (horas a velocidad constante) para las que un grupo de rodamientos alcanza o supera el 90 % antes de que se produzca el criterio de fallo. Los términos vida útil mínima, vida útil L10 y vida útil B10 también son sinónimos de vida útil nominal (25).

### 2.2.12.4 Efecto carga - vida del cojinete a confiabilidad nominal

$$C_{10}(L_D n_D 60)^{1/a} = F_d (L_R n_R 60)^{1/a} \quad (14)$$

Donde:

$C_{10}$ : Clasificación de catálogo, lbf o kN

$L_D$ : Vida nominal en horas

$n_D$ : Velocidad nominal, rpm

$F_d$ : Carga radial deseada, lbf o kN

$L_R$ : Vida deseada, horas

$n_R$ : Velocidad deseada, rpm

Despejando para  $C_{10}$  se tiene:

$$C_{10} = F_d \left( \frac{L_D n_D 60}{L_R n_R 60} \right)^{1/a} \quad (15)$$

$a$ : 3 para cojinete de bolas

$a$ : 10/3 para cojinetes de rodillos (rodillos cilíndricos y cónicos)

### 2.2.12.5 Relación carga-vida-confiabilidad

$$C_{10} = F_d \left( \frac{x_D}{x_0 + (\theta - x_0)(1 - R_D)^{1/b}} \right)^{1/a} \quad (16)$$

Donde:

$$F_d = f_s \cdot F \quad (17)$$

$f_s$ : Factor de seguridad

$F$ : Fuerza resultante de cada apoyo del eje de transmisión

### 2.2.12.6 Cargas combinadas, radial y de empuje

Los rodamientos de bolas poseen la capacidad de soportar cargas radiales y de empuje. También, las cargas se pueden combinar.

Considerar:

$F_a$ : Es la carga de empuje.

$F_r$ : Es la carga radial.

$F_e$ : Como la carga radial equivalente que ocasiona el mismo daño que las cargas de empuje y radial combinadas.

$$\frac{F_e}{VF_r} = 1 ; \text{cuando } \frac{F_a}{VF_r} \leq e \quad (18)$$

$$\frac{F_e}{VF_r} = X + Y \frac{F_a}{VF_r} ; \text{cuando } \frac{F_a}{VF_r} \geq e \quad (19)$$

### 2.2.12.7 Factor de carga radial equivalente para cojinete de bolas

Tabla 12. Factor de carga radial equivalente para cojinete de bolas

$F_a/C_0$	$e$	$F_a/(VF_r) \leq e$		$F_a/(VF_r) \geq e$	
		$X_1$	$Y_1$	$X_2$	$Y_2$
0.014*	0.19	1.00	0	0.56	2.30
0.021	0.21	1.00	0	0.56	2.15
0.028	0.22	1.00	0	0.56	1.99
0.042	0.24	1.00	0	0.56	1.85
0.056	0.26	1.00	0	0.56	1.71
0.070	0.27	1.00	0	0.56	1.63
0.084	0.28	1.00	0	0.56	1.55
0.110	0.30	1.00	0	0.56	1.45
0.17	0.34	1.00	0	0.56	1.31
0.28	0.38	1.00	0	0.56	1.15
0.42	0.42	1.00	0	0.56	1.04
0.56	0.44	1.00	0	0.56	1.00

Tomado de «Diseño de Ingeniería Mecánica de Shigley», octava edición, pág. 560 (25).



## 2.2.12.8 Dimensiones y clasificaciones de carga para cojinetes de bolas de contacto angular de una fila, serie 02 de ranura profunda

Tabla 13. Dimensionamiento y clasificación de carga para cojinetes de bolas

Diámetro interior mm	De mm	Ancho mm	Radio del entalle mm	Diámetro del hombro, mm		Clasificaciones de carga, kN			
				$d_e$	$d_r$	Ranura profunda		Contacto angular	
						$C_{10}$	$C_p$	$C_{10}$	$C_p$
10	30	9	0.6	12.5	27	5.07	2.24	4.94	2.12
12	32	10	0.6	14.5	28	6.89	3.10	7.02	3.05
15	35	11	0.6	17.5	31	7.80	3.55	8.06	3.65
17	40	12	0.6	19.5	34	9.56	4.50	9.95	4.75
20	47	14	1.0	25	41	12.7	6.20	13.3	6.55
25	52	15	1.0	30	47	14.0	6.95	14.8	7.65
30	62	16	1.0	35	55	19.5	10.0	20.3	11.0
35	72	17	1.0	41	65	25.5	13.7	27.0	15.0
40	80	18	1.0	46	72	30.7	16.6	31.9	18.6
45	85	19	1.0	52	77	33.2	18.6	35.8	21.2
50	90	20	1.0	56	82	35.1	19.6	37.7	22.8
55	100	21	1.5	63	90	43.6	25.0	46.2	28.5
60	110	22	1.5	70	99	47.5	28.0	55.9	35.5
65	120	23	1.5	74	109	55.9	34.0	63.7	41.5
70	125	24	1.5	79	114	61.8	37.5	68.9	45.5
75	130	25	1.5	86	119	66.3	40.5	71.5	49.0
80	140	26	2.0	93	127	70.2	45.0	80.6	55.0
85	150	28	2.0	99	136	83.2	53.0	90.4	63.0
90	160	30	2.0	104	146	95.6	62.0	106	73.5
95	170	32	2.0	110	156	108	69.5	121	85.0

Tomado de «Diseño de Ingeniería Mecánica de Shigley», octava edición, pág. 561 (25).

## 2.2.13 Diseño de faja o bandas

### 2.2.13.1 Concepto general de bandas

Los dispositivos mecánicos variables, como correas, cuerdas y cadenas, se utilizan en sistemas de transporte y transmisión de energía a largas distancias. Estos materiales se utilizan a menudo para reemplazar engranajes, ejes, cojinetes y otros componentes de transmisión de potencia complejos. En la mayoría de los casos, su uso simplifica el diseño de la máquina y reduce significativamente los costos. Además, dado que estos materiales son elásticos y suelen ser largos, juegan un papel importante en la absorción de las cargas de choque, reduciendo y aislando los efectos de las vibraciones. Esta es una gran ventaja en términos de vida útil de la máquina. La mayoría de los cambios no duran para siempre. Durante el uso, es importante establecer un programa de seguimiento para prevenir el envejecimiento y la pérdida de fuerza. Las piezas deben ser reemplazadas con el primer indicador de desgaste (25).

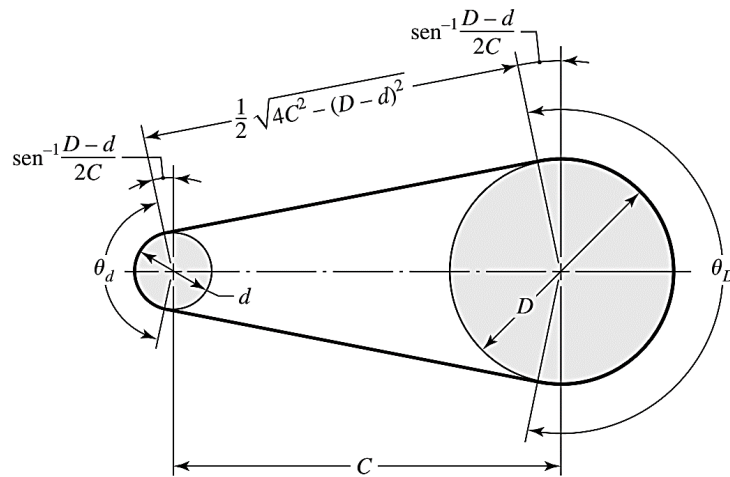


Figura 24. Geometría de bandas planas

Tomado de «Diseño de Ingeniería Mecánica de Shigley», octava edición, pág. 861 (25).

Donde:

$D$ : Diámetro mayor de la polea

$d$ : Diámetro menor de la polea

$C$ : Distancia entre centros

$$\theta_d = \pi - 2 \operatorname{sen}^{-1} \frac{D - d}{2C} \quad (20)$$

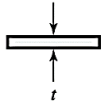

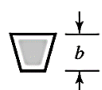
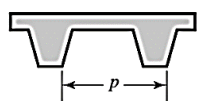
$$\theta_D = \pi + 2 \operatorname{sen}^{-1} \frac{D - d}{2C} \quad (21)$$

$$L = \sqrt{4C^2 - (D - d)^2} + \frac{1}{2}(D\theta_D + d\theta_d) \quad (22)$$

### 2.2.13.2 Tipos de bandas o fajas

Los cuatro tipos principales de correas de transmisión se enumeran en la Tabla 14, junto con sus especificaciones. Las poleas rectas se utilizan para correas horizontales, mientras que las poleas profundas se utilizan para rotación, correas en V y correas trapezoidales. Las correas dentadas necesitan piñones o ruedas dentadas. En cualquier caso, dependiendo del tipo y tamaño del cinturón, los ejes deben estar separados una cierta distancia para que funcionen correctamente (25).

Tabla 14. Características de algunos tipos comunes de bandas

Tipo de banda	Figura	Union	Intervalo de tamaños	Distancia entre centros
Plana		Sí	$t = \begin{cases} 0.03 \text{ a } 0.20 \text{ pulg} \\ 0.75 \text{ a } 5 \text{ mm} \end{cases}$	No hay límite superior
Redonda		Sí	$d = \frac{1}{8} \text{ a } \frac{3}{4} \text{ pulg}$	No hay límite superior
Tipo V		Ninguna	$b = \begin{cases} 0.31 \text{ a } 0.91 \text{ pulg} \\ 8 \text{ a } 19 \text{ mm} \end{cases}$	Limitada
De sincronización		Ninguna	$p = 2 \text{ mm y mayor}$	Limitada

Tomado de «Diseño de Ingeniería Mecánica de Shigley», octava edición, pág. 860 (25).

### 2.2.13.3 Velocidad periférica

Velocidad ubicada en la parte externa de los componentes de rotación, la cual se expresa en medida de longitud por unidad de tiempo.

$$V = \frac{\pi \cdot d \cdot n}{12} \text{ (pie/min)} \quad (23)$$

Donde:

$d$ : Diámetro menor de la polea

$n$ : Revoluciones por minuto

### 2.2.13.4 Longitud de paso

Según Shigley, «para resultados favorables, una banda en V debe funcionar muy rápido: 4 000 pies/min es una buena velocidad. Pueden surgir problemas si la banda funciona con velocidad mayor a 5 000 pies/min o mucho menor que 1 000 pies/min» (25).

$$L_p = L + k \quad (24)$$

Donde:

$k$ : Factor según tipo de banda

$L_p$ : Longitud de paso

$L$ : Longitud de banda

Tabla 15. Dimensiones de convención de longitud factor  $K$

Sección de la banda	A	B	C	D	E
Cantidad a sumar	1.3	1.8	2.8	3.3	4.5

Tomado de «Diseño de Ingeniería Mecánica de Shigley», octava edición, pág. 879 (25).

La longitud de paso  $L_p$  y la distancia entre centros  $C$  se determinan mediante.

$$L_p = 2C + \frac{\pi(D + d)}{2} + \frac{(D - d)^2}{4C} \quad (25)$$

Tabla 16. Circunferencias interiores de banda en  $V$  estándar

Seccion	Circunferencia, pulg
A	26, 31, 33, 35, 38, 42, 46, 48, 51, 53, 55, 57, 60, 62, 64, 66, 68, 71, 75, 78, 80, 85, 90, 96, 105, 112, 120, 128
B	35, 38, 42, 46, 48, 51, 53, 55, 57, 60, 62, 64, 65, 66, 68, 71, 75, 78, 79, 81, 83, 85, 90, 93, 97, 100, 103, 105, 112, 120, 128, 131, 136, 144, 158, 173, 180, 195, 210, 240, 270, 300
C	51, 60, 68, 75, 81, 85, 90, 96, 105, 112, 120, 128, 136, 144, 158, 162, 173, 180, 195, 210, 240, 270, 300, 330, 360, 390, 420
D	120, 128, 144, 158, 162, 173, 180, 195, 210, 240, 270, 300, 330, 360, 390, 420, 480, 540, 600, 660
E	180, 195, 210, 240, 270, 300, 330, 360, 390, 420, 480, 540, 600, 660

Tomado de «Diseño de Ingeniería Mecánica de Shigley», octava edición, pág. 879 (25).

### 2.2.13.5 Potencia nominal

Tabla 17. Potencia nominal de bandas en V estándar

Seccion de la banda	Diametro de paso de la polea, pulg	Velocidad de la banda, pie/min				
		1000	2000	3000	4000	5000
A	2.6	0.47	0.62	0.53	0.15	
	3.0	0.66	1.01	1.12	0.93	0.38
	3.4	0.81	1.31	1.57	1.53	1.12
	3.8	0.93	1.55	1.92	2.00	1.71
	4.2	1.03	1.74	2.20	2.38	2.19
	4.6	1.11	1.89	2.44	2.69	2.58
	5.0 y mayor	1.17	2.03	2.64	2.96	2.89
B	4.2	1.07	1.58	1.68	1.26	0.22
	4.6	1.27	1.99	2.29	2.08	1.24
	5.0	1.44	2.33	2.80	2.76	2.10
	5.4	1.59	2.62	3.24	3.34	2.82
	5.8	1.72	2.87	3.61	3.85	3.45
	6.2	1.82	3.09	3.94	4.28	4.00
	6.6	1.92	3.29	4.23	4.67	4.48
	7.0 y mayor	2.01	3.46	4.49	5.01	4.90
C	6.0	1.84	2.66	2.72	1.87	
	7.0	2.48	3.94	4.64	4.44	3.12
	8.0	2.96	4.90	6.09	6.36	5.52
	9.0	3.34	5.65	7.21	7.86	7.39
	10.0	3.64	6.25	8.11	9.06	8.89
	11.0	3.88	6.74	8.84	10.0	10.1
	12.0 y mayor	4.09	7.15	9.46	10.9	11.1
D	10.0	4.14	6.13	6.55	5.09	1.35
	11.0	5.00	7.83	9.11	8.50	5.62
	12.0	5.71	9.26	11.2	11.4	9.18
	13.0	6.31	10.5	13.0	13.8	12.2
	14.0	6.82	11.5	14.6	15.8	14.8
	15.0	7.27	12.4	15.9	17.6	17.0
	16.0	7.66	13.2	17.1	19.2	19.0
	17.0 y mayor	8.01	13.9	18.1	20.6	20.7
E	16.0	8.68	14.0	17.5	18.1	15.3
	18.0	9.92	16.7	21.2	23.0	21.5
	20.0	10.9	18.7	24.2	26.9	26.4
	22.0	11.7	20.3	26.6	30.2	30.5
	24.0	12.4	21.6	28.6	32.9	33.8
	26.0	13.0	22.8	30.3	35.1	36.7
	28.0 y mayor	13.4	23.7	31.8	37.1	39.1

Tomado de «Diseño de Ingeniería Mecánica de Shigley», octava edición, pág. 881 (25).

### 2.2.13.6 Factor de corrección

Tabla 18. Factor de corrección de ángulo de contacto KI

$\frac{D-d}{C}$	$\theta$ , grados	$K_1$	
		VV	Plana en V
0.00	180	1.00	0.75
0.10	174.3	0.99	0.76
0.20	166.5	0.97	0.78
0.30	162.7	0.96	0.79
0.40	156.9	0.94	0.80
0.50	151.0	0.93	0.81
0.60	145.1	0.91	0.83
0.70	139.0	0.89	0.84
0.80	132.8	0.87	0.85
0.90	126.5	0.85	0.85
1.00	120.0	0.82	0.82
1.10	113.3	0.80	0.80
1.20	106.3	0.77	0.77
1.30	98.9	0.73	0.73
1.40	91.1	0.70	0.70
1.50	82.8	0.65	0.65

Tomado de «Diseño de Ingeniería Mecánica de Shigley», octava edición, pág. 882 (25).

$$\frac{D - d}{c} \quad (26)$$

Donde:

$D$ : Diámetro mayor de la polea

$d$ : Diámetro menor de la polea

$C$ : Distancia entre centros

$K_1$ : Factor de corrección

### 2.2.13.7 Factor de corrección de longitud

Tabla 19. Factor de corrección de longitud de banda k2

Factor de longitud	Longitud nominal de la banda, pulg				
	Bandas A	Bandas B	Bandas C	Bandas D	Bandas E
0.85	Hasta 35	Hasta 46	Hasta 75	Hasta 128	
0.90	38-46	48-60	81-96	144-162	Hasta 195
0.95	48-55	62-75	105-120	173-210	210-240
1.00	60-75	78-97	128-158	240	270-300
1.05	78-90	105-120	162-195	270-330	330-390
1.10	96-112	128-144	210-240	360-420	420-480
1.15	120 y mayor	158-180	270-300	480	540-600
1.20		195 y mayor	330 y mayor	540 y mayor	660

Tomado de «Diseño de Ingeniería Mecánica de Shigley», octava edición, pág. 882 (25).

### 2.2.13.8 Potencia permitida

$$H_a = K_1 \times K_2 \times H_{tab} \quad (27)$$

Donde:

$K_1$ : Factor de corrección

$K_2$ : Factor de corrección de longitud

$H_{tab}$ : Potencia tabulada

$H_a$ : Potencia permitida

### 2.2.13.9 Potencia de diseño

$$H_d = H_{mon} \times K_s \times nd \quad (28)$$

Donde:

$H_{mon}$ : Potencia del motor

$K_s$  : Factor de servicio sugerido

$n_d$ : Factor de seguridad que propone el diseñador

$H_d$ : Potencia de diseño

Tabla 20. Factores de servicio sugerido  $k_2$  para transmisión en banda V

Maquinaria impulsada	Fuente de potencia	
	Características del par de torsion normal	Par de torsion alto o no uniforme
Uniforme	1.0 a 1.2	1.1 a 1.3
Impacto ligero	1.1 a 1.3	1.2 a 1.4
Impacto medio	1.2 a 1.4	1.4 a 1.6
Impacto pesado	1.3 a 1.5	1.5 a 1.8

Tomado de «Diseño de Ingeniería Mecánica de Shigley», octava edición, pág. 882 (25).

### 2.2.13.10 Número de bandas

$$N_b = \frac{H_d}{H_a} \quad (29)$$

Donde:

$H_d$ : Potencia de diseño

$H_a$ : Potencia permitida

### 2.2.14 Diseño de eje – hélice

Cuando se utilizan herramientas y productos comunes, los sinfines o hélices para el transporte suelen estar hechos de acero al carbono, con un grosor de 3 a 4 mm. El diámetro suele ser inferior a 2 cm del diámetro de la carcasa. Esto se debe al hecho de que no es necesario sujetar las paredes de la carcasa cuando gira el eje del tornillo. El tipo de hélice depende del tamaño y rendimiento del producto (27). En la Figura 26, podemos observar las partes principales de un sistema de transporte por tornillo sin fin.

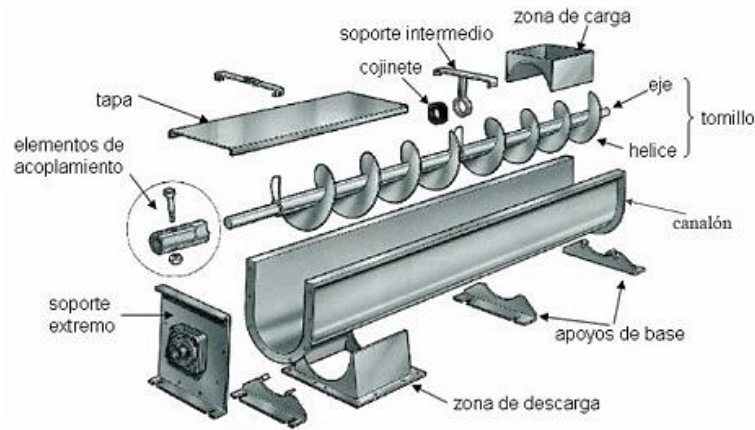


Figura 25. Transportadora de tornillo sin fin y sus partes

Tomado de «Transportadores de tornillo sin fin», por Galvarro (27).

### 2.2.14.1 Cálculo del transportador eje sin fin

Al transportar el café fermentado con la baba del mucílago, que viene de la tolva de suministro para ser friccionados con limpiadores que están adaptados a lo largo del eje, se realiza a través del transporte ascendente por las hélices del tornillo sin fin, para lo cual es necesario calcular el diámetro necesario, a través de la ecuación 30.

$$\bar{Q} = 3600 \lambda x \left( \frac{\pi x (D^2 - d^2)}{4} \right) x \left( \frac{P x n}{60} \right) x \gamma x k \quad (30)$$

Donde

$\bar{Q}$  : Flujo másico (Tn/Hr)

$\lambda$ : Coeficiente de relleno (-)

$D$ : Diámetro externo (m)

$d$ : Diámetro interno (m)

$P$ : Paso del helicoidal (m)

$n$ : Velocidad de giro (rpm)

$\gamma$ : Densidad del material (Tn/m<sup>3</sup>)

$k$ : Coeficiente de inclinación (-)

El coeficiente de relleno se determina a través de los distintos tipos de materiales a emplear por donde se va a transportar la materia prima, para el estudio se seleccionó un material de grado ligero y no abrasivo, seleccionado de la Tabla 21.



Tabla 21. *Coefficiente de relleno según tipo de carga*

Tipo de carga	Coefficiente de relleno
Pesada y abrasiva	0.125
Pesada y poco abrasiva	0.25
Ligera y poco abrasiva	0.32
Ligera no abrasiva	0.4

Tomado de «Transportadores de tornillo sin fin», por Galvarro (27).

### 2.2.14.2 Paso de las hélices

En general, el paso del tornillo de transporte o conocido por su nombre técnico como paso de hélice, se determina como la longitud entre dos hélices de grado continuo en el eje del tornillo de transporte, como se visualiza en la Figura 27.

Respecto al diámetro de las hélices del tornillo sin fin, su dimensión es inversamente proporcional a la velocidad del eje. Entonces, para velocidades altas, se determina que el eje con las hélices deberá ser más estrecho (27).

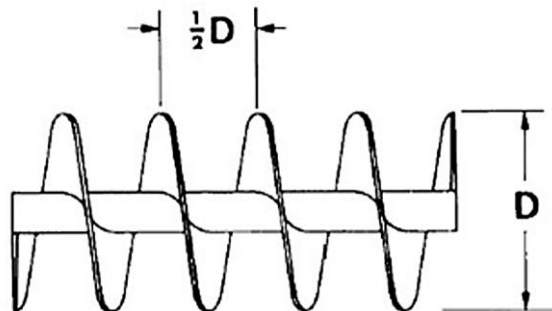


Figura 26. Selección de paso de hélice.

Tomado de «Transportadores de tornillo sin fin», por Galvarro (27).

#### Relación de paso de hélice:

$$P = D/2 \quad (31)$$

Donde:

*P*: Paso de las hélices.

*D*: Diámetro de las hélices.

### 2.2.14.3 Coeficiente de carga según inclinación

El coeficiente de carga según la inclinación del eje, se selecciona considerando el trabajo y tipo de producto que se desea transportar de la Tabla 22.

Tabla 22. Coeficiente de carga según inclinación

Inclinación del tubo	Coeficiente
0	0.33
15	0.19
30	0.13
45 o mas	0.08

Tomado de «Transportadores de tornillo sin fin», por Galvarro (27).

#### 2.2.14.4 Diámetro del eje

En general, las dimensiones del diámetro utilizado para los transportadores de tornillo también dependen del tipo de material que se transporta y siguen estrictamente otras relaciones, según el trabajo a desarrollar:

En materiales de igual grado o mismas características mecánicas, el diámetro para el tornillo de transporte es, como mínimo, 12 veces más de la materia prima a transportar.

En materiales de diferente grado y características mecánicas distintas, el diámetro para el tornillo de transporte es, como mínimo, 4 veces más de la materia prima a transportar (27).

#### 2.2.14.5 Diámetro requerido

$$(D^2 - d^2)D = \left( \frac{2 \times \bar{Q}}{15 \times \pi \times \lambda \times n \times \gamma \times k} \right) \quad (32)$$

Donde:

$\bar{Q}$ : Flujo másico (Tn/Hr)

$\lambda$ : Coeficiente de relleno (-)

$D$ : Diámetro externo (m)

$d$ : Diámetro interno (m)

$P$ : Paso del helicoidal (m)

$n$ : Velocidad de giro (rpm)

$\gamma$ : Densidad del material (Tn/m<sup>3</sup>)

$k$ : Coeficiente de inclinación (-)

### 2.2.14.6 Altura helicoidal

$$H_{hel} = H_{vuelta} \times P \quad (33)$$

Donde

$H_{hel}$  : Altura del helicoidal ( $m$ )

$H_{vuelta}$  : Número de vueltas del helicoidal (-)

$P$ : Paso del helicoidal ( $m$ )

### 2.2.14.7 Altura del mecanismo de desmucilaginado

La altura del área de desmucilaginado tiene en cuenta el volumen que se concentra en el bastidor (bastidor perforado) y los mecanismos de limpiado (como se muestran en la Figura 28) que extraerán el mucílago del café ya fermentado.

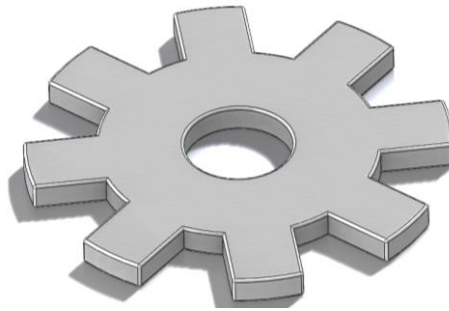


Figura 27. Geometría de los limpiadores

$$H_{des} = \frac{V_{art}}{A_{art}} \quad (34)$$

Donde:

$H_{des}$ : Altura de desmucilaginado.

$V_{art}$ : Volumen requerido en el tambor.

$A_{art}$ : Área transversal entre el eje y bastidor.

### 2.2.14.8 Volumen requerido en el tambor

El volumen requerido en tambor nos brinda la capacidad necesaria que se requiere durante el desmucilaginado, a un nivel óptimo del cien por ciento de trabajo.

$$V_{art} = q' \times t \quad (35)$$

Donde:

$V_{art}$  : Volumen necesario ( $m^3$ )

$t$ : Tiempo necesario para el proceso (s)

$q'$ : Flujo volumétrico de la máquina

#### 2.2.14.9 Flujo volumétrico de la máquina

$$q' = \frac{Q'}{3600 \times \gamma} \quad (36)$$

Donde:

$q'$ : Flujo volumétrico de la máquina

$Q'$ : Flujo másico (Tn/hr)

$\gamma$ : Densidad del material (Tn/m<sup>3</sup>)

#### 2.2.14.10 Área transversal entre el eje y bastidor

Al determinar la fórmula que representa el área que está comprendida en medio del bastidor perforado y el perímetro de los mecanismos de limpieza, para mayor detalle se representa a través de la Figura 29, con el área verde sombreada.



Figura 28. Área transversal del desmucilagador

$$A_{art} = \frac{\pi}{4} \times ((D_{ar}^2 - D_L^2) + (\frac{D_L^2 - d_L^2}{2})) \quad (37)$$

Donde:

$D_{art}$ : Diámetro interno de la artesa (m)

$D_L$ : Diámetro a la punta externa del limpiador (m)

$d_L$ : Diámetro a la base del limpiador (m)

#### 2.2.14.11 Potencia requerida

Para calcular la potencia requerida, se estima de manera independiente cada una de las potencias como son: la potencia requerida para mover los helicoides sin

carga, la potencia requerida para mover todo el sistema y la potencia requerida para mover los limpiadores desde la inercia inicial.

**Potencia en vacío (helicoides):**

$$P_{hv} = \frac{H_{hel} \times n_{eje} \times F_D \times F_b}{410} \tag{38}$$

Donde:

$P_{hv}$  : Potencia para mover el helicoidal vacío (HP)

$n_{eje}$  : Velocidad de giro del eje (rpm)

$F_D$  : Factor de diámetro del helicoidal

$F_b$  : Factor de rodadura

Tabla 23. Factor de diámetro según diámetro exterior  $F_D$

<b>Diámetro (mm)</b>	<b><math>F_d</math></b>
50	0.5
80	0.7
100	1.2
150	1.8
225	3.1
300	5.5

Tomado de Chavarría Castejón y Piscocoy Catón (10).

Tabla 24. Factor de diámetro según rodadura  $F_b$

<b>Factor de rodadura</b>	<b><math>F_b</math></b>
Libre	1.2
De bolas	1
Bronce, grafito	1.7
Plastico	2
Hierro duro	4.4

Tomado de Chavarría Castejón y Piscocoy Catón (10).

**2.2.14.12 Potencia con carga**

La potencia de carga hace referencia a la potencia requerida para poder mover materia que se desea transportar según su disposición mecánica.

$$P_{ca} = \frac{(H_{hel} + H_{des}) \times q' \times \gamma}{186} \tag{39}$$

Donde:

$P_{ca}$  : Potencia para mover la carga del conjunto (HP)

$q'$  : Flujo volumétrico (m<sup>3</sup>/Hr)

$\gamma$ : Densidad del material (Kg/m<sup>3</sup>)

#### 2.2.14.13 Potencia para mover los limpiadores

$$T_{li} = I_{li} \times \alpha_{eje} \quad (40)$$

Donde:

$T_{li}$  : Torque necesario para vencer la inercia (N × m)

$I_{li}$  : Momento polar de inercia del conjunto (Kg × m<sup>2</sup>)

$\alpha_{eje}$  : Aceleración angular del eje (rad/s<sup>2</sup>).

$$\alpha_{eje} = \frac{\omega_f - \omega_0}{t} \quad (41)$$

Donde:

$\omega_f$  : Velocidad angular final (rad/s)

$\omega_0$  : Velocidad angular inicial (rad/s)

$t$ : Tiempo de aceleración (s)

$$\omega_f = \frac{\pi \times n}{30} \quad (42)$$

#### 2.2.14.14 Potencia para vencer la inercia

$$P_{li} = \frac{T_{li} \times n_{eje}}{\vartheta} \quad (43)$$

Donde:

$P_{li}$  : Potencia para vencer la inercia (HP)

$T_{li}$  : Torque necesario para vencer la inercia (N × m)

$n_{eje}$  : Velocidad de giro del eje (rpm)

$\vartheta$  : Constante para cambio de unidades (7121)

#### 2.2.14.15 Potencia Total

$$P_t = \frac{P_{HV} + P_{ca} + P_{li}}{n_{tram}} \quad (44)$$

Donde:

$P_t$  : Potencia total requerida (HP)

$n_{tram}$  : Eficiencia del tipo de transmisión

### 2.2.15 Acero inoxidable

Los aceros inoxidables son aquellos metales que tienen resistencia a la corrosión y resistencia a altas temperaturas, los cuales contienen un mínimo de 10.5% de cromo en su composición. Como también hay un gran variedad y gama de aceros inoxidables con diferentes grados de resistencia mecánica y corrosión, sus propiedades de deben a los elementos de aleación para variar sus propiedades mecánicas y niveles de corrosión, según el área o lugar donde se requiera el acero inoxidable en su mayoría. Son usados en la industria alimentaria, medicina, electrónica, construcción y otros (28). En la Tabla 25, podemos observar ciertos tipos de aceros inoxidables.

Tabla 25: tipos de acero inoxidable

Tipos de acero inoxidable			
Material	Dureza brinell / rockwell	Resistencia a la traccion	Aplicaciones comunes
AISI 304	215 / 96	104,427 psi	Aplicaciones varias
AISI 310	193 / 92	95,000 psi	Alta resistencia a la corrosión y altas temperaturas
AISI 316	215 / 96	104,427 psi	Resistencia ala tracción y aplicaciones marítimas
M – 303	290 / 105	114,580 psi	Para moldes de plástico y aplicaciones altamente corrosivas
K-100 AISI D3	248 / 99	121,832 psi	Cuchillas de corte, aplicaciones de alta dureza y corrosión
K-110 AISI D2	250 / 100	114,580 psi	Cuchillas de corte, aplicaciones de alta dureza y corrosión

Tomado de «Aceros especiales», Bohler, 2018, pág. 15 (29).

### 2.2.16 Abastecimiento y transporte de agua

El abastecimiento y transporte de agua se da a través de conexiones y distribuidores de agua como tuberías, conectores, válvulas, bombas, etc., que ayuden a movilizar el líquido de un punto al sistema.

#### 2.2.16.1 Cálculo de consumo de agua

Al determinar las fórmulas planteadas a continuación podremos saber cuánta es la cantidad necesaria de agua que se utilizará en el sistema de lavado, de esta manera podremos saber cuánto se consume en el sistema.

$$Q = \frac{V}{t} \quad (45)$$

Donde:

$Q$ : Caudal (Lt/s)

$V$ : Volumen (Lt)

$t$ : Tiempo (s)

Según Cenicafe (Centro Nacional de Investigaciones de Café) se utiliza entre 20 a 30 litros de agua para lavar un kilogramo de café de manera artesanal.

$$C_t = Q * t_t \quad (46)$$

$C_t$ : Cantidad de agua utilizada en el lavado por una hora (Lt)

$Q$ : Caudal (Lt/s)

$t_t$ : Tiempo de lavado de café en una hora (s)

$$C_A = \frac{C_t}{P_t} \quad (47)$$

$C_A$ : Consumo de agua (Lt/Kg)

$C_t$ : Cantidad de agua utilizada en el lavado por una hora (Lt)

$P_t$ : Cantidad de café lavado por hora (Kg)

### 2.3 Definición de términos básicos

**Metodología:** Es un conjunto de métodos, pasos, procesos a seguir para una investigación científica, de manera eficaz y eficiente para obtener los resultados esperados por el investigador.

**Máquina:** Mecanismo fabricado a través de piezas, unidas entre sí, que son usadas para realizar un proceso determinado en el cual se transforma la energía consumida en movimiento, facilitando así un trabajo.

**SolidWorks:** Software de tipo CAD para diseño mecánico, estructural, eléctrico, etc. Usa un área gráfica, basado en Microsoft Windows con un sistema intuitivo y rápido para crear piezas y modelos sólidos en 2D y 3D.



**Café pergamino:** Es la semilla de café protegida por una cáscara secundaria (el pergamino) y es el estado del grano en el cual fue prosado desde su cosecha hasta su secado.

**Café especial:** Son aquellos cafés de calidad superior en los cuales se pueden apreciar mejores atributos, como su sabor aroma e intensidad. Estos se obtienen gracias a un buen cuidado, nutrición de la planta y procesado adecuado, cuidando las características importantes del café.

**Café cerezo:** Café en estado baya o almendro, se denomina así por su parecido a una uva, podemos encontrar los cerezos en los frutos del café.

**Motor eléctrico:** Es una máquina con un sistema electromecánico que permite transformar la energía eléctrica en movimiento, produciendo una fuerza de rotación continua.

**Flow simulation:** Es una herramienta o extensión del programa SolidWorks que nos permite simular flujos de agua o gases en un dominio computacional, mejorando así la descripción conceptual de un sistemas o prototipo.

**Café arábico:** Variedad de café originaria de etiofia, engloba alrededor del 70 % del café y es la variedad más consumida en el mundo.

**Tornillo sin fin:** Elemento utilizado para transmitir movimiento continuo, convierte movimiento de rotación en movimiento lineal.

**Mucilago:** Sustancia orgánica viscosa que se encuentra presente en algunos vegetales, también se puede encontrar en el café como una capa gelatinosa que se desprende al ser lavado.

**Despulpado:** Proceso que consiste en separar la pulpa y la cáscara de los granos de café.

**Lavado (café):** Proceso en el cual se limpia y desprende todo el mucilago del café para su posterior secado y comercializado.

**Beneficio húmedo:** Comprende los procesos de despulpado, fermentado, desmucilaginado y lavado de café, en los cuales se utilizan agua limpia.

**Cenicafe:** Centro Nacional de Investigación del Café, situado en Colombia.

## **CAPÍTULO III**

### **METODOLOGÍA**

#### **3.1 Metodología y tipo de investigación**

##### **3.1.1 Metodología de investigación**

###### **3.1.1.1 Método descriptivo**

Según Elena Blanco (30) la metodología descriptiva describe simplemente «la secuencia de actividades en el diseño. Responde principalmente a la pregunta ¿Qué hacer? y tiene un enfoque heurístico que se basa en la experiencia previa, reglas generales y buenas prácticas que conducen a una solución correcta».

Se utilizó el método descriptivo, porque se recopiló información concerniente al proyecto, como: encuestas para identificar los problemas y datos necesarios que permitan mejorar el análisis del problema, se analizaron datos de otros diseños mecánicos y/o máquinas, que muestran un enfoque más detallado para la investigación.

###### **3.1.1.2 Método prescriptivo**

Según Elena Blanco, la metodología descriptiva (30) «responde a la pregunta ¿Cómo hacerlo? y recomiendan un patrón de actividades durante el proceso de diseño. Son procedimientos sistemáticos o algorítmicos que enfatizan en la necesidad de un trabajo más analítico para llegar a la generación de soluciones conceptuales», teniendo un mejor enfoque en la identificación y comprensión total del problema y recomienda una secuencia de procesos durante el diseño.

Se utilizó la metodología prescriptiva, porque permite plasmar los datos recopilados y poder plantear el desarrollo de cálculos, análisis de diseño y simulación para validar el diseño planteado.

### **3.1.1.3 Método experimental**

Según Ciro Espinosa, la investigación experimental (31) «tiene como propósito manipular las variables que tienen relación causal para transformar el objeto de investigación. Su finalidad es crear conocimientos nuevos para mejoras, está orientado a evaluar y optimizar los factores causales del objeto de estudio».

Se utilizó la metodología experimental para el prototipado de un sistema vertical de lavado de café, contribuyendo a la mejora en el proceso de producción de los pequeños y medianos productores de café. De esta manera podemos considerar el tipo de investigación como tecnológica.

### **3.1.2 Tipo de investigación**

«La investigación tecnológica, tiene como propósito la invención de aparatos o procesos con la finalidad de presentarlos al mercado y conseguir un beneficio económico» (32). La presente investigación emplea el conocimiento científico con el propósito de beneficiar a la sociedad, en especial al sector cafetalero, contribuyendo al desarrollo de pequeños y medianos productores de café. De esta manera podemos considerar el tipo de investigación como tecnológico.

### **3.1.3 Metodología empleada para el desarrollo de la solución**

La investigación se desarrolla con la adaptación de metodologías de acuerdo a la necesidad para el desarrollo del estudio, como se muestra en el diagrama de la Figura 30.

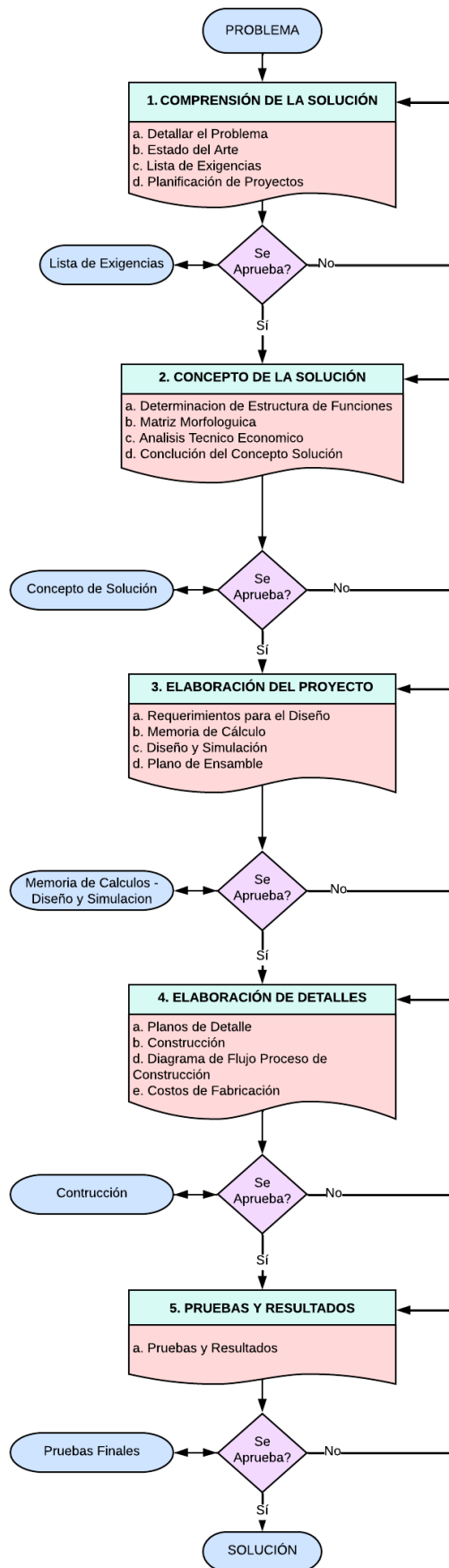


Figura 29. Adaptación de metodología de investigación

### 3.1.3.1 Resumen analítico del estado de arte

Esta sección de la investigación se centra en recopilar la información de proyectos o estudios existentes que tienen similitud, a fin de facilitar datos que nos será de ayuda en el desarrollo de este diseño.

### 3.1.3.2 Lista de exigencias

Se debe distinguir las características de las exigencias en «E» exigencias o «D» deseos. Debemos completar la lista teniendo en cuenta qué necesidad debe satisfacer, qué propiedad debe tener para la solución y plasmarla en la Tabla 26.

Tabla 26. *Lista de exigencias*

LISTA DE EXIGENCIAS			EDICIÓN:	Pág.: de:
PROYECTO:			CLIENTE:	n.º de identificación:
			Calzados	Redactado por:
			Mantaro	Fecha:
Camb	D E	Exigencias	Responsable	

### 3.1.3.3 Planificación del proyecto

Consiste en hacer un plan de trabajo, esto es, hacer repartición de recursos humanos y materiales para realizar el diseño y plasmarlo en la Tabla 27.

Tabla 27. *Tabla de planificación del proyecto*

ACTIVIDAD	SEMANAS									OBSERVACIONES
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	

### 3.1.4 Determinar la estructura de funciones

#### 3.1.4.1 Estructura de funciones

Proceso de abstracción que cuyo fin es el de englobar todas las posibles soluciones al problema.

#### 3.1.4.2 Proceso de abstracción caja negra

Se considera entradas y salidas, sin tomar en cuenta el funcionamiento interno, en las cuales solo están presentes tres magnitudes, las cuales son energía, materia y señal, como se representa en la Figura 31.

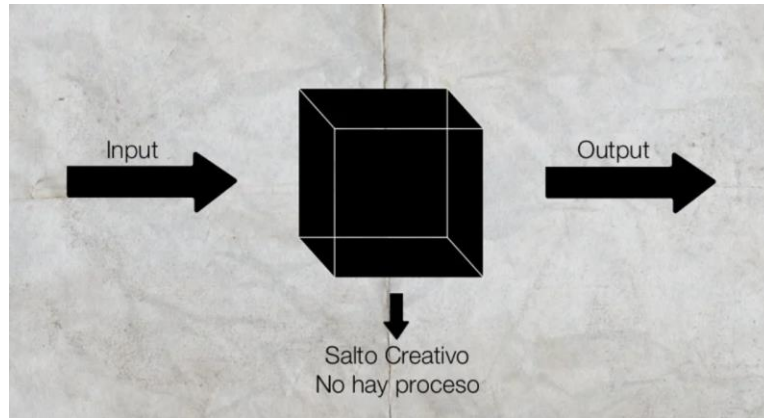


Figura 30. Caja negra o Black box

Tomado de «Metodología de diseño», por Christopher Jones, 2017 (33).

### 3.1.4.3 Determinar la secuencia de operaciones

Se estructura los procesos técnicos y los procedimientos para los trabajos.

### 3.1.4.4 Fijar los procesos técnicos

### 3.1.4.5 Determinar y representar la estructura de funciones: Caja Blanca

Se representan los aspectos internos que influyen en el sistema y sus relaciones causales que se establecen en sus componentes, así como entradas y salidas, como se representa en la Figura 32.

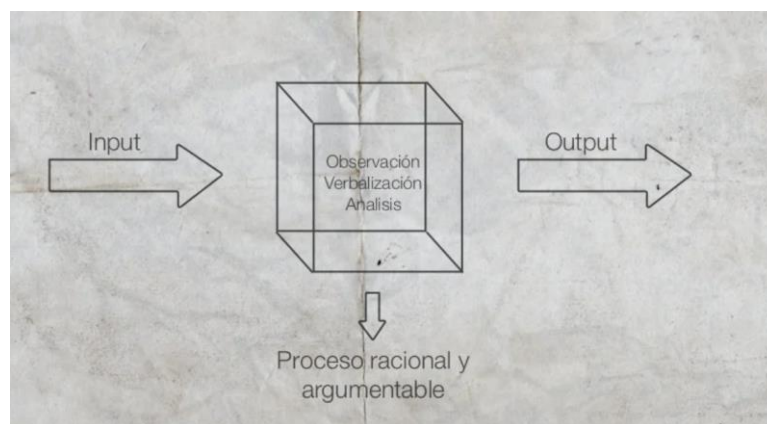


Figura 31. Caja transparente o caja blanca.

Tomado de «Metodología de diseño», por Christopher Jones, 2017 (33).

### 3.1.5 Elaboración del concepto de solución

Lo componen la estructura de funciones, así como la lista de exigencias.

### 3.1.5.1 Matriz morfológica

Se dividen en funciones parciales, las cuales se consideran como: alternativas o principios de solución, en las cuales luego se relacionan en una matriz, como se observa en la Tabla 28.

Tabla 28. *Matriz morfológica*

FUNCIONES PARCIALES	PORTADORES DE FUNCIONES (características o principios de solución)			
	1	2	3	4
Función Parcial 1				
Función Parcial 2				
Función Parcial 3				
CONCEPTOS DE SOLUCIÓN				

### 3.1.5.2 Análisis técnico y económico

Se evalúan las diversas funciones o alternativas, cumpliendo con la lista de exigencias y la matriz morfológica a través de la Tabla 29.

Tabla 29. *Tabla de análisis técnico y económico*

CRITERIO TÉCNICO	VARIANTE				
	A	B	C	D	E
<b>TOTAL</b>					

### 3.1.5.3 Conclusión del concepto solución

Se describe detalladamente cada función del concepto de solución y se realiza un diagrama de flujo explicativo.

## 3.1.6 Elaboración del proyecto

### 3.1.6.1 Memoria de cálculo

La memoria de cálculo detallará todos los cálculos necesarios para realizar el diseño digital y respectiva construcción de la máquina.

### **3.1.6.2 Modelamiento y simulación**

El modelamiento y simulación de los elementos y ensambles de la máquina nos permiten validar la memoria de cálculo para su respectiva construcción.

### **3.1.6.3 Plano de ensamble**

El plano de ensamble nos permite visualizar a grandes rasgos todos los componentes de la máquina.

## **3.1.7 Construcción**

### **3.1.7.1 Planos de detalle**

El plano detalle de cada pieza o componente nos permite visualizar a detalle todas las medidas y características principales de la pieza.

### **3.1.7.2 Construcción**

### **3.1.7.3 Diagrama de procesos de fabricación**

El diagrama de flujo del proceso de fabricación representa los diversos procesos que intervienen en la fabricación de la máquina.

## **3.1.8 Costos de fabricación**

### **3.1.8.1 Costos directos e indirectos**

Son los costos que intervinieron en la fabricación de la máquina, como los materiales mano de obra, etc.

Los costos indirectos son aquellos que no intervinieron de forma directa, como gastos administrativos, transporte, etc.



## **CAPÍTULO IV**

### **ANÁLISIS Y DISEÑO DE SOLUCIÓN**

#### **4.1 Identificación de requerimiento**

Aquí se desarrollará la primera fase de la metodología para el diseño y fabricación del sistema vertical de lavado de café fermentado, con recirculación de agua para los productores del anexo Señor de los Milagros – Satipo – Junín, que es «Comprensión de la solución».

##### **4.1.1 Detallar el problema**

Cómo diseñar y desarrollar un sistema vertical de lavado de café fermentado con recirculación de agua para los productores del anexo Señor de los Milagros – Satipo – Junín, que permita reducir los tiempos de lavado y consumo de agua, a su vez disminuir la contaminación de los ríos o acequias donde se vierten las aguas miles.

##### **Encuesta realizada para el análisis de proceso de lavado artesanal:**

Se realizó una encuesta a los pobladores del anexo Señor de los Milagros – Satipo, acerca de los procesos de lavado artesanal en cuanto a los tiempos de lavado, consumo de agua y donde vierten las aguas mieles.

1. Encuesta realizada a la finca «LAS ORQUIDEAS´» del anexo Señor de los Milagros – Satipo. Como se muestra en la Figura 33, la propietaria de la finca mencionó que el proceso de lavado del café fermentado suele ser muy tedioso, debido a que, al estar en contacto con el agua

por tiempos prolongados de dos a tres horas y tres a cuatro veces por semana en la etapa de golpe (cuando la mayor cantidad de café este maduro), suelen enfermarse con frecuencia.

La finca posee una piscina de lavado artesanal, la propietaria nos mencionó que el proceso de lavado se realiza a través de la inundación del café fermentado repetidamente, para ello, se debe llenar la piscina unas tres veces para seleccionar y lavar el café, también mencionó que durante estas fechas suele haber escases de agua, debido a la falta de lluvias, lo que hace más dificultoso el proceso de lavado.

La propietaria mencionó también que los desechos del proceso de lavado artesanal son vertidos a las corrientes de agua aledañas a la finca, como se muestra en la Figura 33.



*Figura 32.* Encuesta realizada en la finca «Las Orquídeas» – anexo Señor de los Milagros - Satipo

2.-Encuesta realizada a la finca «LA VIÑA» del anexo Señor de los Milagros – Satipo como se muestra en la figura 34, el propietario nos comenta que durante las fechas donde el café llega a su apogeo (la mayor parte del café este maduro), es muy trabajoso realizar el proceso de lavado, debido a que cuentan con una mínima cantidad de agua en ese periodo y que el proceso de quitar el mucilago toma mucho tiempo, ya que deben llenar la piscina artesanal entre 3 a 4 veces para que el café este bien lavado, para lo cual se consume entre 1000 a 1200 litros cada vez que llenan la piscina artesanal a media capacidad, de acuerdo a las medidas que se tomaron. El propietario también mencionó que los desechos del proceso de lavado artesanal son vertidos a las corrientes de agua aledañas a la finca, como se muestra en la Figura 34.



Figura 33. Encuesta realizada en la finca «La viña» – anexo Señor de los Milagros – Satipo

Tabla 30. Observaciones de las deficiencias del lavado de café tradicional

Observaciones de la evaluación	
1. Las orquídeas	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Exposición prolongada al agua entre dos a tres horas, 3 a 4 veces por semana.</li> <li>• Uso de piscinas artesanales para lavado de café.</li> <li>• Escases de agua en tiempos de cosecha.</li> <li>• Mal manejo de las aguas mieles o aguas residuales del lavado de café, las cuales son vertidas a afluentes de agua.</li> </ul>
2. La viña	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tiempo de lavado muy prolongado, debido al método tradicional y falta de agua.</li> <li>• Aproximadamente, se consume 4000 litros de agua por lavado en la piscina en que se realizó la encuesta, considerando que es de tamaño promedio.</li> <li>• Los desechos del lavado de café son vertidos a afluentes de agua aledaños, contaminándolos.</li> <li>• El uso de estas tecnologías tradicionales requiere de más personal para realizar esta labor.</li> </ul>

Conclusión:

Luego de evaluar las fincas, se concluyó, a partir de las observaciones, que tienen las mismas deficiencias, como son el tiempo de lavado, el consumo de agua, la contaminación del agua, los posibles problemas de salud y el uso de más personal.

#### 4.1.2 Resumen analítico del estado del arte

Tabla 31. Estado del arte

Año	Lugar	Autor	Concepto clave
2019	Guatemala	PENAGOS	 <p data-bbox="687 813 1477 898">ECOLINE 800 Despulpadora: Con un motor de 1HP es capaz de despulpar de 600 a 800 kg de café por hora.</p> <p data-bbox="687 936 1477 1070">Desmucilaginadora con un motor de 3HP es capaz de lavar café de 600 a 800 kg/hora, consume un litro de agua por kilo de café pergamino seco y tiene un peso de 220 kg.</p>
2019	Colombia	PENAGOS	 <p data-bbox="687 1666 1477 1850">Lavador de flujo ascendente de alimentación manual, de bajo consumo de energía. Con un motor de 3HP es capaz de lavar 1270 kg de café por hora, utilizando 1500 litros de agua por hora y tiene un peso de 102 kg.</p>

2020	Colombia	RB	 <p>ECO-WASHER 3500 Es una máquina diseñada para el lavado de café fermentado, optimizando el uso de agua y energía. El diseño horizontal evita daños mecánicos en el café. Tiene una capacidad de lavado de 3000 kg de café por hora y un consumo de agua de 1500 litros por kilogramo de café pergamino seco y un peso de 85 kg.</p>
------	----------	----	--

### 4.1.3 Lista de exigencias

Tabla 32. Lista de exigencias

[LISTA DE EXIGENCIAS		EDICIÓN:	Pág.: de:
PROYECTO: Diseño y desarrollo de un sistema vertical de lavado de café fermentado con recirculación de agua para los productores del anexo Señor de los Milagros – Satipo – Junín.		CLIENTE:	No. de identificación: Redactado por: Fecha:
Cambios (Fecha)	D E	Exigencias	Responsable
<b>Función principal</b>			
	E	Diseñar y fabricar un sistema vertical de lavado de café fermentado con recirculación de agua y con capacidad de 720kg/h.	Harold
	D	Diseñar y fabricar un sistema de lavado que permita recircular y reducir el consumo de agua.	Anhelo
	E	Remover el mucilago del café fermentado mediante un sistema mecánico y fricción entre cafés fermentados.	Anhelo
	E	Lavar y limpiar los granos de café con un consumo menor a un litro por kilogramo de café.	Harold

	E	Las dimensiones de la máquina serán de 80.7 cm x 138 cm x 66.7cm.	Anhelo
	E	El sistema debe funcionar a una velocidad de 750 rpm.	Harold
<b>Fabricación y materiales</b>			
	E	Los materiales deben ser accesibles al mercado y de uso industrial.	Harold
	E	Los componentes del sistema deben ser fabricados en acero inoxidable, debido a que estarán en contacto con el agua y alimentos que serán para consumo humano.	Anhelo
	E	La máquina podrá ser fabricada en talleres locales.	Anhelo
<b>Mantenimiento</b>			
	D	Para el mantenimiento debe haber disponibilidad y accesibilidad de repuestos en la localidad.	Harold
	E	El diseño de la máquina debe ser de fácil inspección para el mantenimiento de las distintas piezas.	Harold
<b>Costos</b>			
	E	El costo de materiales para la fabricación de la máquina no debe superar los S./5 000 soles.	Anhelo
<b>Ergonomía</b>			
	E	La máquina debe ser de fácil operación.	Harold
	D	El tablero de control estará a una altura ergonómica de 1.50 metros.	Anhelo
	D	Cada componente de la máquina no debe superar los 30 kilogramos.	Harold
	E	El peso de la máquina no debe superar los 100 kilogramos para facilitar el transporte.	Anhelo
<b>Seguridad</b>			
	E	La máquina debe contar con guardas de protección para las bandas de transmisión.	Harold
	E	El tablero de control contará con pulsadores de encendido, apagado y parada de emergencia.	Anhelo
<b>Medio Ambiente</b>			

	E	Los subproductos del proceso de lavado de café serán dirigidos a través de mangueras a las compostas de cáscara de café, para reducir sus composiciones tóxicas para el medio ambiente.	Anhelo
--	---	---	--------

**Energía**

	E	La fuente de energía para el funcionamiento de la máquina será por un motor eléctrico monofásico.	Harold
--	---	---	--------

**Movimiento**

	E	El sistema debe generar un movimiento rotativo para poder simular el movimiento de una lavadora convencional.	Anhelo
--	---	---	--------

#### 4.1.4 Planificación del proyecto

Tabla 33. Planificación de proyecto

ACTIVIDADES	ABRIL 2022 - ABRIL 2023											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
<b>ETAPA I</b>												
Búsqueda de tema de investigación y/o proyecto	■											
Formulación y planteamiento del problema	■	■										
Elaboración de los objetivos	■	■			■	■						
Redacción de la justificación del proyecto	■	■										
<b>ETAPA II</b>												
Establecer el lugar o delimitación	■	■										
Búsqueda de antecedentes	■	■			■							
Búsqueda de bases teóricas	■	■		■	■							
Elaboración del plan de proyecto	■	■										
establecer la metodología		■										
Elaboración del matriz morfológica y caja negra		■		■	■							
Elaboración de conceptos de solución		■		■	■							
Realización del análisis técnico económico				■	■							
<b>ETAPA III</b>												
Elaboración de bosquejos y cálculos				■	■	■	■					
Diseño de planos en SolidWorks	■	■	■	■				■	■	■		
<b>ETAPA IV</b>												
Fabricación del prototipo			■	■	■	■	■	■	■	■		
Realización de pruebas y resultados										■	■	■
Costos de fabricación			■	■	■					■	■	■
Resultados obtenidos y conclusiones									■	■	■	



## 4.2 Análisis de solución

Aquí se desarrollará la segunda fase de la metodología para el diseño y fabricación del sistema vertical de lavado de café fermentado con recirculación de agua para los productores del anexo Señor de los Milagros – Satipo – Junín, que es «Concepto de solución».

### 4.2.1 Determinar la estructura de funciones

#### 4.2.1.1 Proceso de abstracción: caja negra



Figura 34. Black box o caja negra n.º 01

#### 4.2.1.2 Determinar la secuencia de operaciones

Tabla 34. Determinación de secuencia de operación

<b>a.-</b>	Suministro: Se suministra el café de forma manual.
<b>b.-</b>	Almacenamiento: Se almacena el café en una tolva contenedora.
<b>c.-</b>	Energizar la máquina: Se energiza la máquina de forma manual mediante un interruptor.
<b>d.-</b>	Transmisión de potencia: La energía eléctrica se transforma en energía mecánica, la cual transmite la potencia.
<b>e.-</b>	Transporte: Luego de energizar el sistema, inicia la función de transporte que eleva verticalmente el café para su lavado.
<b>f.-</b>	Desmucilaginado mecánico: La energía mecánica genera el movimiento del sistema de lavado, el cual lava y transporta el café fermentado.
<b>g.-</b>	Salida:

	El café lavado trasladado es evacuado hacia su respectivo lugar de acopio.
<b>h.-</b>	Filtrado de aguas mieles: Mediante el filtro podemos reutilizar el agua del lavado para economizarla.
<b>i.-</b>	Control: Luego de haber finalizado, se apaga la máquina y se realiza un control visual del café, el cual debe estar en óptimas condiciones.

#### 4.2.1.3 Estructura de funciones caja blanca

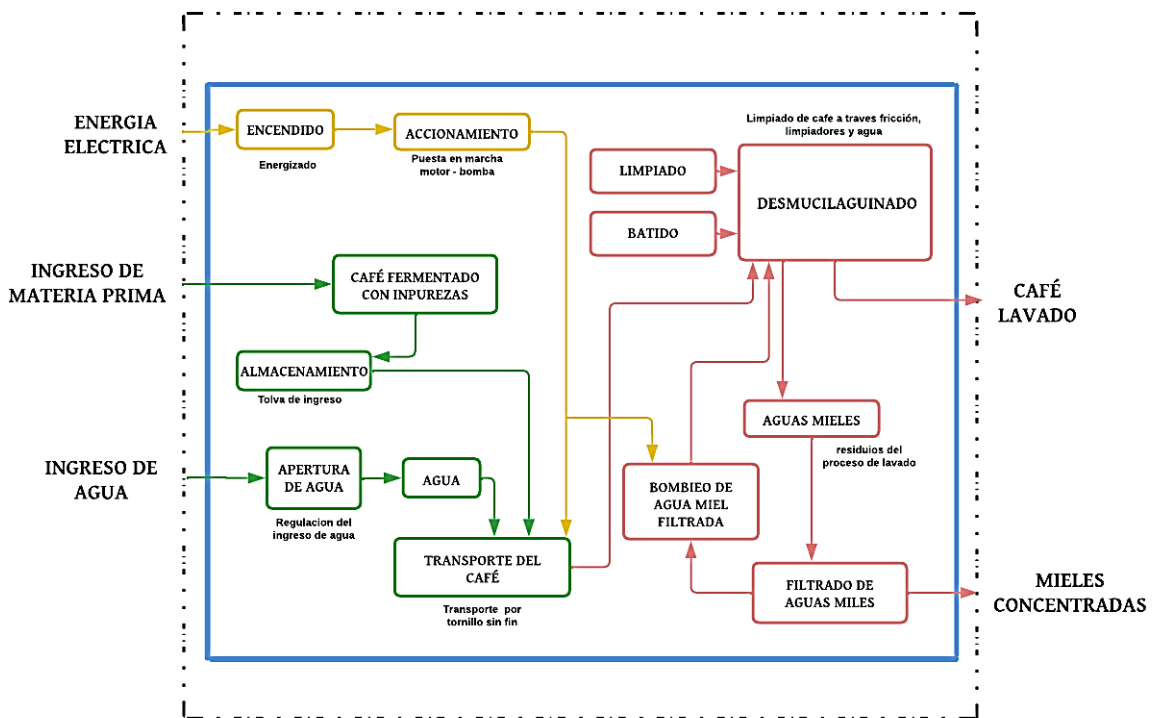














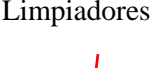
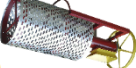

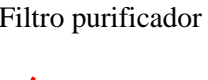

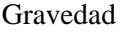







Figura 35. Caja transparente o caja blanca n.º 01

#### 4.2.1.4 Matriz morfológica

Tabla 35. Matriz morfológica n.º 01

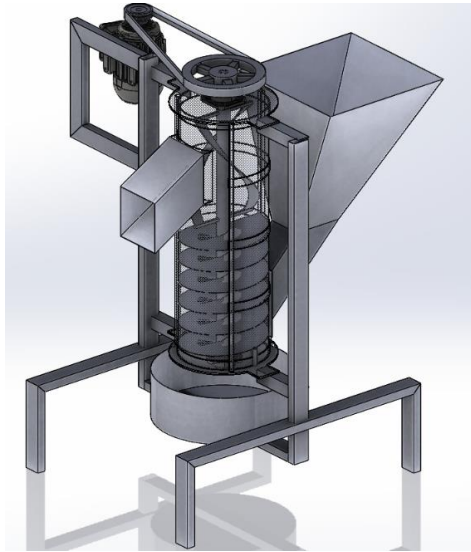
FUNCIONES PARCIALES	PORTADORES DE FUNCIONES (características o principios de solución)			
	1	2	3	4
Suministro	Manualmente 	Manualmente 	Faja de transporte 	

<b>Almacenamiento</b>	Silo 	Tolva 		
<b>Energizado</b>	Motor eléctrico 		Manual 	
<b>Transmisión de potencia</b>	Engranajes 	poleas 	Cadena 	
<b>Transporte</b>	Faja transportadora 	Tornillo sin fin 	Canastilla 	
<b>desmucilaginado</b>	Varillas 	Limpiadores 	Canastilla horizontal 	
<b>Filtrado de aguas</b>	Artesanal 	Filtro purificador 	Filtro 	
<b>Salida</b>	Gravedad 	Mangueras flexibles 	Tuberías fijas 	
<b>Control</b>		Pantalla 	Sensores 	
<b>CONCEPTOS DE SOLUCIÓN</b>	<b>CONCEPTO 1</b>	<b>CONCEPTO 2</b>	<b>CONCEPTO 3</b>	

### Concepto de solución 1:

El método de suministro será manual y se almacenará en una tolva. Para el energizado utilizaremos un motor, el cual transmitirá la potencia necesaria hacia las poleas, las cuales darán movimiento al tornillo sin fin que transportará los granos de café hacia la parte superior verticalmente y unas varillas curvas se encargarán del desmucilaginado. El agua utilizada para el lavado pasara por un filtro el cual separará y limpiará el agua para poder ser reutilizada. La salida del café lavado será mediante

gravedad hacia un recipiente y el control de calidad será visual como se muestra en la Figura 37.



*Figura 36.* Concepto de solución 1

### **Concepto de solución 2:**

El café será suministrado de manera manual hacia una tolva de almacenamiento. El energizado de la máquina será mediante interruptores que encenderán el motor eléctrico, el cual transmitirá energía a las poleas que a su vez moverán el sistema de lavado del tornillo sin fin y los limpiadores. Contará con un filtro, el cual permitirá reutilizar el agua utilizada en el lavado de café. La salida del café será mediante gravedad, por un conducto ubicado en la parte superior y el control será visual, como se muestra en la Figura 38.



*Figura 37.* Concepto de solución 2

### Concepto de solución 3:

El café será suministrado, mediante fajas, hacia un silo de almacenamiento. La máquina utilizará un motor eléctrico para transmitir la potencia a las poleas y estas puedan mover la canastilla que cumplirá la función de transportador y desmucilaginador de granos de café. Se utilizará un filtro, el cual separará las mieles del café del agua para así poder reutilizar el agua empleada en el lavado de café; finalmente, la salida de los granos será mediante unas tuberías y el control será visual, como se muestra en la Figura 39.

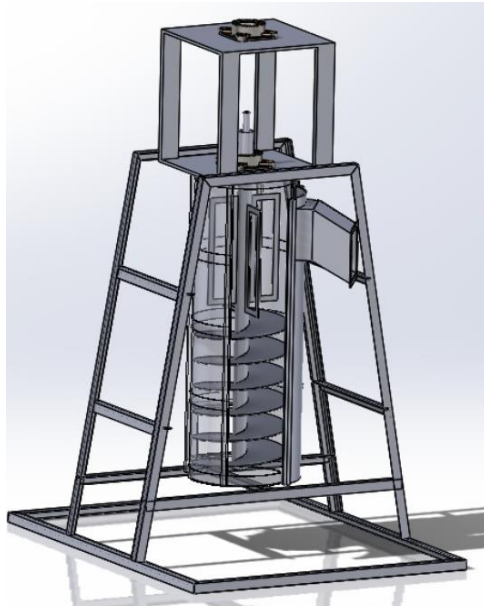


Figura 38. Concepto de solución 3

#### 4.2.2 Análisis técnico y económico

Tabla 36. Análisis técnico n.º 01

DISEÑO MECÁNICO – EVALUACIÓN DE PROYECTOS (valor técnico)	
PROYECTO: Sistema de lavado ecoamigable de café	
p: Puntaje de 0 a 4	
0: o satisface	
1: Aceptable a las justas	
2: Suficiente	
3: Bien	
4: Muy bien	
g: Peso ponderado, se da en función de la importancia de los criterios de evaluación (valor total debe sumar 1)	
PMS: Puntaje Máximo de Solución	/ PMSI: Puntaje Máximo Solución Ideal

Variantes de concepto / proyecto			Solución 1		Solución 2		Solución 3		Solución Ideal	
			S1		S2		S3		S Ideal	
n.º	Criterio de evaluación	g	p	g*p	p	g*p	p	g*p	p	g*p
1	Suministro	0.25	2	0.5	3	0.75	2	0.5	4	1
2	Almacenamiento	0.15	3	0.45	3	0.45	2	0.3	4	0.6
3	Energizado	0.15	2	0.3	2	0.3	2	0.3	4	0.6
4	Transmisión de potencia	0.10	2	0.2	2	0.2	2	0.2	4	0.4
5	Transporte	0.15	2	0.3	3	0.45	2	0.3	4	0.6
6	Desmucilaginado	0.10	1	0.1	3	0.3	2	0.2	4	0.4
7	Filtrado de aguas	0.05	1	0.05	2	0.1	1	0.05	4	0.2
8	Control salida	0.05	2	0.1	2	0.1	1	0.05	4	0.2
PUNTAJE MÁXIMO		1	2		2.65		1.9		4	
VALOR TÉCNICO (PMS/PMSI)			0.5		0.6625		0.475		1	

Tabla 37. Análisis económico n.º 01

**DISEÑO MECÁNICO – EVALUACIÓN DE PROYECTOS (económico)**

**PROYECTO:**

**p:** Puntaje de 0 a 4

**0:** No satisface

**1:** Aceptable a las justas

**2:** Suficiente

**3:** Bien

**4:** Muy bien

**g:** Peso ponderado, se da en función de la importancia de los criterios de evaluación (valor total debe sumar 1)

**PMS:** Puntaje Máximo de Solución

**/ PMSI:** Puntaje Máximo Solución Ideal

Variantes de concepto / proyecto			Solución 1		Solución 2		Solución 3		Solución Ideal	
			S1		S2		S3		S Ideal	
n.º	Criterio de evaluación	g	p	g*p	p	g*p	p	g*p	p	g*p

1	Costos de materiales	0.4	2	0.8	3	1.2	2	0.8	4	1.6
2	Costo de Fabricación	0.3	2	0.6	2	0.6	2	0.6	4	1.2
3	Costo de ensamblaje	0.2	2	0.4	2	0.4	1	0.2	4	0.8
4	Costo de mantenimiento	0.1	2	0.2	2	0.2	1	0.1	4	0.4
PUNTAJE MÁXIMO		1	2		2.4		1.7		4	
VALOR ECONOMICO (PMS/PMSI)			0.5		0.6		0.425		1	

Tabla 38. Resultados del análisis técnico y económico

	Solución 1	Solución 2	Solución 3	SOLUCION IDEAL
VALOR TÉCNICO	0.5	0.6625	0.475	1
VALOR ECONOMICO	0.5	0.6	0.425	1

#### 4.2.3 Conclusión del concepto solución

Se concluyó que el concepto de solución 2 es mejor por las siguientes funciones:

##### a.-Suministro:

Se suministra el café de forma manual en una tolva metálica.

##### b.-Almacenamiento:

Se almacena el café en una tolva contenedora de acero, en la cual, mediante la gravedad los granos de café, ingresarán a la canastilla de lavado.

##### c.-Energizar la máquina:

Se energiza la máquina de forma manual mediante un interruptor termo magnético, el cual contará con su respectivo guarda motor, para evitar cualquier incidente o falla del sistema eléctrico.

##### d.-Transmisión de potencia:

La energía eléctrica se transforma en energía mecánica, la cual transmite la potencia. Esta transmisión se realiza mediante poleas y fajas que ponen en movimiento el eje de lavado.

##### e.-Transporte:

El transporte de los granos de café se lleva a cabo mediante un tornillo sin fin de acero inoxidable, el cual eleva verticalmente los granos para su lavado.

#### **f.-Desmucilaginado mecánico:**

Se realiza la función de desmucilaginado a través de la fricción entre la canastilla de lavado, el agua, los limpiadores y los mismos granos de café. De esta manera se consigue un lavado eficiente.

El lavado mecánico se realiza en la canastilla de lavado, fabricada en acero inoxidable, y los limpiadores, los cuales son de polipropileno. Mediante una fricción entre estos elementos y los mismos granos de café se obtiene un lavado eficiente.

#### **g.-Salida:**

El café lavado trasladado es evacuado hacia su respectivo lugar de acopio.

#### **h.-Filtrado de aguas mieles:**

El filtro este hecho a base de acero inoxidable y malla, esta podrá filtrar las aguas mieles, pudiendo así controlar la contaminación del agua y economizarla.

#### **i.-Control:**

Luego de haber finalizado, se apaga la máquina y se realiza un control visual del café, el cual debe estar en óptimas condiciones.

Concluimos que el concepto de solución 2 es la mejor opción para poder realizar este sistema de manera óptima.

### **4.3 Diseño**

Aquí se desarrollará la tercera fase de la metodología para el diseño y fabricación del sistema vertical de lavado de café fermentado, con recirculación de agua para los productores del anexo Señor de los Milagros – Satipo – Junín, que es «Elaboración del proyecto».

#### **4.3.1 Requerimientos para el cálculo (datos del grano de café)**

Densidad aproximada del grano de café en estado baba

$$\rho_s = 803.40 \frac{kg}{m^3}$$

Tamaño promedio de un grano de café según CENICAFE

$$d_p=9530 \text{ micrometros}$$



#### 4.4 Memoria de cálculo

##### 4.4.1 Diseño y selección de tornillo transportador y limpiadores

###### Cálculo de tornillo transportador:

El transporte del café fermentado de la tolva hacia los limpiadores situados en el parte intermedio del eje se realiza a través de un tornillo sin fin trastornador, definido por los siguientes parámetros de la ecuación 48.

###### Cálculo del flujo másico:

El flujo másico es seleccionado en base a las exigencias del diseño de la máquina con una capacidad de producción de 900kg/Hr.

$$Q' = 3600 \times \lambda \times \left( \frac{\pi \times (D^2 - d^2)}{4} \right) \times \left( \frac{P \times n}{60} \right) \times \gamma \times k \quad (48)$$

Donde:

$Q'$  : Flujo másico (0.9 Tn/Hr)

$\lambda$ : Coeficiente de relleno (-)

$D$ : Diámetro externo (m)

$d$ : Diámetro interno (*criterio del diseñador*)

$P$ : Paso del helicoidal (m)

$n$ : Velocidad de giro (rpm)

$\gamma$ : Densidad del material ( $803.4 \text{ kg/m}^3 \leftrightarrow 0.8034 \text{ Tn/m}^3$ )

$k$ : Coeficiente de inclinación (-)

###### Coeficiente de relleno $\lambda$ :

El coeficiente de relleno se define teniendo en cuenta el tipo y peso del material a trasladar, teniendo en cuenta la materia prima que es el café fermentado que se seleccionó como materia prima del grado ligero y pico abrasivo 0.32 de la Tabla 39.

Tabla 39. Coeficiente de relleno según el tipo de carga  $\lambda$

Tipo de carga	Coeficiente de relleno
Pesada y abrasiva	0.125
Pesada y poco abrasiva	0.25
Ligera y poco abrasiva	0.32
Ligera no abrasiva	0.4

Tomado de Chavarría Castejón y Piscoya Catón (10).

### Densidad del material:

Según la publicación realizada por SENICAFE (Propiedades físicas y factores de conversión del café en el proceso de beneficio - 2013) se selecciona de la Tabla 40, el tipo de café en baba o fermentado con la característica *sin seleccionar* de  $803.4 \text{ kg/m}^3$ .

Tabla 40. Propiedades físicas del café

	Uribe (1977)	Presente estudio (2006)	
		Café seleccionado	Café sin seleccionar
Densidad aparente ( $\text{kg/m}^3$ )			
Fruto	600	621,57	616,50
Pulpa fresca	270	299,74	298,20
Grano de café en baba	800	826,71	803,40
Grano de café lavado	650	701,87	693,66
Grano de café escurrido	s.d.	687,17	678,31
Grano de café seco de agua	520	s.d.	s.d.
Grano de café pergamino	380	391,44	385,75
Grano de café almendra	680	709,99	707,31

Tomado de «Propiedades físicas y factores de conversión del café en el proceso de beneficio CENICAFE», pág. 137 (17).

### Relación de paso entre diámetro:

En el paso del helicoides sencillo o tornillo transportador para el diseño se tiene en cuenta la elevación vertical y el material a transportar. Se selecciona el paso según como se menciona en la Figura 40.

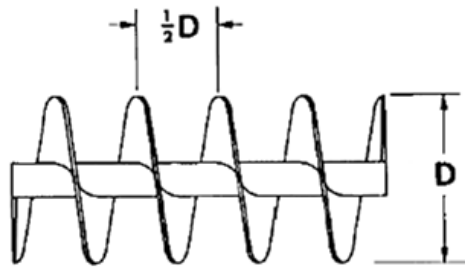


Figura 39. Selección del paso de helicoide o del tornillo transportador.

Tomado de «Diseño de una transportadora de harina para el traslado de molido en la Empresa Agroindustrial Vásquez S. A. C.», pág. 45 (34).

$$P = \frac{D}{2} \quad (49)$$

#### Coefficiente de inclinación $k$ :

El coeficiente de inclinación se determina de acuerdo a la Tabla 41, tomando en cuenta de que el ángulo de elevación de helicoide mayor a 45 grados es de 0.08.

Tabla 41. Coeficiente de carga según la inclinación  $k$

Inclinación del tubo	coeficiente
0	0.33
15	0.19
30	0.1
45 a mas	0.08

Tomado de «Diseño de una máquina desmucilagadora automatizada para café con capacidad de 500 Kg/h.», pág. 45 (10).

De acuerdo con la investigación realizada por DESLIM, se menciona que para una mejor remoción o extracción del mucilago del café ya fermentado, se debe tener en cuenta la velocidad de giro de la máquina que se encuentra entre 700 – 800 rpm.

Reemplazamos los datos obtenidos en la ecuación 50:

$$(D^2 - d^2)D = \frac{2 \times Q'}{15 \times \lambda \times \pi \times n \times \gamma \times k} \quad (50)$$

$$(D^2 - 0.07^2)D = \frac{2 \times 0.9}{15 \times 0.32 \times \pi \times 750 \times 0.8034 \times 0.08}$$

$$D^3 - 0.0049D = 0.002476$$

$$D = 0.1473 \text{ m} \pm 0.5 \text{ } \langle \rangle \text{ } 20 \text{ cm}$$

Reemplazamos los datos obtenidos en la ecuación 46:

$$P = \frac{D}{2}$$

$$P = \frac{20}{2}$$

$$P = 10 \text{ cm}$$

#### **Cálculo de altura helicoidal:**

El cálculo de la altura helicoidal se define con la ecuación 51.

$$H_{hel} = H_{vuelta} \times P \quad (51)$$

Donde:

$H_{hel}$  : Altura del helicoidal (cm)

$H_{vuelta}$  : Número de vueltas del helicoidal (-)

$P$ : Paso del helicoidal (cm)

Reemplazamos en la ecuación 48:

$$H_{hel} = H_{vuelta} \times P$$

$$H_{hel} = 2 \times 10$$

$$H_{hel} = 20 \text{ cm}$$

#### **Cálculo de altura de desmucilagador:**

Para hallar la altura efectiva del sistema desmucilagador se tiene en cuenta el volumen y área del bastidor para la extracción del mucilago.

El diámetro del bastidor o artesa se define de la siguiente manera, teniendo en cuenta una luz de 0.5 cm alrededor del sistema de transporte, para evitar el atascamiento u obstrucción del café durante el lavado y permitiendo en paso del agua (diámetro de bastidor 21cm).

$$H_{des} = \frac{V_{art}}{A_{art}} \quad (52)$$

Donde:

$H_{des}$ : Altura de desmucilagado

$V_{art}$ : Volumen requerido en el tambor

$A_{art}$ : Área transversal entre el eje y bastidor

Según la tecnología DESLIM se tiene en cuenta el tiempo efectivo y necesario para remover el mucilago en un cien por ciento, definido por un periodo de entre 15 a 25 segundos, por ello se determinó un tiempo de 25 segundo. Con base en este dato se determina el flujo volumétrico de la máquina.

**Cálculo del flujo volumétrico de la máquina  $q'$ :**

$$q' = \frac{Q'}{3600 \times \gamma} \quad (53)$$

Donde:

$q'$ : flujo volumétrico de la máquina ( $m^3/s$ )

$Q'$ : Flujo másico ( $Tn/hr$ )

$\gamma$ : Densidad del material ( $Tn/m^3$ )

Reemplazamos los datos obtenidos en la ecuación 53:

$$q' = \frac{Q'}{3600 \times \gamma}$$
$$q' = \frac{0.9}{3600 \times 0.8034}$$
$$q' = 3.11 \times 10^{-4} \text{ } \langle \rangle \text{ } 0.000311 \text{ } m^3/s$$

**Cálculo volumen requerido en el tambor:**

$$V_{art} = q' \times t \quad (54)$$

Donde:

$V_{art}$ : Volumen necesario ( $m^3$ )

$t$ : Tiempo necesario para el proceso (s)

$q'$ : Flujo volumétrico de la máquina

Reemplazamos los datos obtenidos en la ecuación 54:

$$V_{art} = q' \times t$$
$$V_{art} = 0.000311 \times 25$$
$$V_{art} = 7.775 \times 10^{-3} \text{ } \langle \rangle \text{ } 0.007775 \text{ } m^3$$

### Cálculo del área transversal entre el eje y la artesa:

Para el diseño de los limpiadores, se tomó en cuenta las versiones comerciales del mercado actual, como se muestra en la Figura 41.

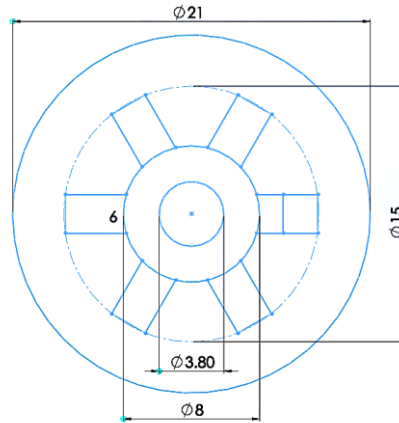


Figura 40. Geometría de los limpiadores- bastidor

Donde:

$$D_{art} : 0.21(m)$$

$$D_L : 0.15(m)$$

$$d_L: 0.08 (m)$$

$$A_{art} = \frac{\pi}{4} x ((D_{ar}^2 - D_L^2) + (\frac{D_L^2 - d_L^2}{2})) \quad (55)$$

Donde:

$D_{art}$  : Diámetro interno de la artesa (m)

$D_L$  : Diámetro a la punta externa del limpiador (m)

$d_L$ : Diámetro a la base del limpiador (m)

Reemplazamos los datos obtenidos en la ecuación 55:

$$A_{art} = \frac{\pi}{4} x ((D_{ar}^2 - D_L^2) + (\frac{D_L^2 - d_L^2}{2}))$$

$$A_{art} = \frac{\pi}{4} x ((0.21^2 - 0.15^2) + (\frac{0.15^2 - 0.08^2}{2})).$$

$$A_{art} = 0.02328 m^2$$

Reemplazamos los datos obtenidos en la ecuación 49:

$$H_{des} = \frac{V_{art}}{A_{art}}$$

$$H_{des} = \frac{0.007775}{0.02328}$$

$$H_{des} = 0.3339 \text{ m} <> 33 \text{ cm}$$

### Cálculo de potencia total $P_t$ :

La potencia total se determina a través de la potencia requerida, potencia con carga y potencia para romper la inercia.

La eficiencia, según el tipo de transmisión, se determina al seleccionar el tipo de faja y su eficiencia, se seleccionó tipo de **transmisión v** con una eficiencia de 0.96.

$$P_t = \frac{P_{HV} + P_{ca} + P_{li}}{n_{tram}} \quad (56)$$

Donde:

$P_t$  : Potencia total requerida (HP)

$n_{tram}$  : Eficiencia del tipo de transmisión (0.96)

### Potencia en requerida (en vacío) $P_{hv}$ .

$$P_{hv} = \frac{H_{hel} \times n_{eje} \times F_d \times F_b}{410} \quad (57)$$

Donde:

$P_{hv}$  : Potencia para mover el helicoidal vacío (HP)

$n_{eje}$  : Velocidad de giro del eje (750 rpm)

$F_d$  : Factor de diámetro del helicoide

$F_b$  : Factor de rodadura

### Factor de diámetro del helicoide $F_d$ :

Para el diseño de los helicoides, se tiene un diámetro exterior de 200 mm. En la Tabla 42, se muestra los factores de diámetro según el diámetro exterior, por ello se interpola los valores de dicha tabla, para obtener un factor más exacto, como se muestra en la Tabla 43.

Tabla 42. Factor de diámetro según diámetro exterior  $F_d$

Diámetro (mm)	$F_d$
50	0.5
80	0.7
100	1.2
150	1.8
225	3.1
300	5.5

Tomado de «Diseño de una máquina desmucilagadora automatizada para café con capacidad de 500 Kg/h», pág. 49 (10).

Tabla 43. Interpolación de factor  $F_d$

Diámetro (mm)	$F_d$
150	1.8
200	$X=2.67$
225	3.1

$$F_d = 2.67$$

#### Factor según tipo de rodadura $F_b$ :

El factor de rodadura se determina según la selección o tipo de rodamiento que se tomará en cuenta para el diseño del eje (rodamiento de bolas) de la Tabla 44.

Tabla 44. Factor de rodadura  $F_b$

Factor de rodadura	$F_b$
Libre	1.2
De bolas	1
Bronce, grafito	1.7
Plástico	2
Hierro duro	4.4

Tomado de «Diseño de una máquina desmucilagadora automatizada para café con capacidad de 500 Kg/h», pág. 49 (10).



$$F_b = 1$$

Reemplazamos los datos obtenidos en la ecuación 54:

$$P_{hv} = \frac{H_{hel} \times n_{eje} \times F_d \times F_b}{410}$$

$$P_{hv} = \frac{0.2 \times 750 \times 2.67 \times 1}{410}$$

$$P_{hv} = 0.976hp$$

### Potencia con carga $P_{ca}$ :

La potencia de carga hace referencia a la potencia requerida para poder mover materia que se desea transportar, según su disposición mecánica.

$$P_{ca} = \frac{(H_{hel} + H_{des}) \times q' \times \gamma}{186} \quad (58)$$

Donde:

$P_{ca}$  : Potencia para mover la carga del conjunto (HP)

$q'$  : Flujo volumétrico ( $0.000311 \text{ m}^3/s \llcorner 1.1196 \text{ m}^3/Hr$ )

$\gamma$ : Densidad del material ( $Kg/m^3$ )

Reemplazamos los datos obtenidos en la ecuación 55:

$$P_{ca} = \frac{(H_{hel} + H_{des}) \times q' \times \gamma}{186}$$

$$P_{ca} = \frac{(0.2 + 0.33) \times 1.1196 \times 803.4}{186}$$

$$P_{ca} = 2.56hp$$

### Potencia para mover los limpiadores $T_{li}$ :

La potencia para romper la inercia se define como la potencia necesaria para mover el conjunto de limpiadores y helicoide, partiendo de la inercia, como se determina en la ecuación 59.

$$T_{li} = I_{li} \times \alpha_{eje} \quad (59)$$

Donde:

$T_{li}$  : Torque necesario para vencer la inercia ( $N \times m$ )

$I_{li}$  : Momento polar de inercia del conjunto ( $Kg \times m^2$ )

$\alpha_{eje}$  : Aceleración angular del eje ( $rad/s^2$ )

**Cálculo de la aceleración angular del eje  $\alpha_{eje}$ :**

$$\alpha_{eje} = \frac{\omega_f - \omega_0}{t} \quad (60)$$

Donde:

$\omega_f$  : Velocidad angular final ( $rad/s$ )

$\omega_0$  : Velocidad angular inicial ( $0 rad/s$ )

$t$ : Tiempo de aceleración ( $25s$ )

**Cálculo de velocidad angular final  $\omega_f$ :**

$$\omega_f = \frac{\pi \times n}{30} \quad (61)$$

Reemplazamos los datos obtenidos en la ecuación 61:

$$\omega_f = \frac{\pi \times n}{30}$$

$$\omega_f = \frac{\pi \times 750}{30}$$

$$\omega_f = 78.53 \text{ rad/s}$$

Reemplazamos los datos obtenidos en la ecuación 57:

$$\alpha_{eje} = \frac{\omega_f - \omega_0}{t}$$

$$\alpha_{eje} = \frac{78.53 - 0}{25}$$

$$\alpha_{eje} = 3.1412 \text{ rad/s}$$

**Momento de inercia  $I_{li}$ :**

El momento de inercia se determinó a través del software SOLIDWORKS, el momento de inercia polar es de  $0.05634 \text{ kg/m}^2$ .

Reemplazamos los datos obtenidos en la ecuación 56:

$$T_{li} = I_{li} \times \alpha_{eje}$$

$$T_{li} = 0.05634 \times 3.1412$$

$$T_{li} = 0.1769$$

**Potencia para romper la inercia  $P_{li}$  :**

$$P_{li} = \frac{T_{li} \times n_{eje}}{\vartheta} \quad (62)$$

Donde:

$P_{li}$  : Potencia para vencer la inercia (HP)

$T_{li}$  : Torque necesario para vencer la inercia ( $N \times m$ )

$n_{eje}$  : Velocidad de giro del eje (rpm)

$\vartheta$  : Constante para cambio de unidades (7121)

Reemplazamos los datos obtenidos en la ecuación 59:

$$P_{li} = \frac{T_{li} \times n_{eje}}{\vartheta}$$

$$P_{li} = \frac{0.1796 \times 750}{7121}$$

$$P_{li} = 0.018hp$$

Reemplazamos los datos obtenidos en la ecuación 53:

$$P_t = \frac{P_{HV} + P_{ca} + P_{li}}{n_{tram}}$$

$$P_t = \frac{0.976 + 2.56 + 0.018}{0.96}$$

$$P_t = 2.15hp$$

### **Conclusión:**

De acuerdo a los cálculos realizados, la potencia total necesaria para poder mover el sistema es de 2.15 hp, dado que en el mercado actual no existen motores de tal potencia, se selecciona un motor monofásico comercial de 2hp.

#### **4.4.2 Diseño del eje**

Para el desarrollo del diseño del eje, se necesita hallar las fuerzas resultantes que se aplican sobre el eje, para posteriormente poder seleccionar su material y sus

dimensiones respectivas, como se representa en la Figura 42, las fuerzas que intervienen en el eje principal de lavado.

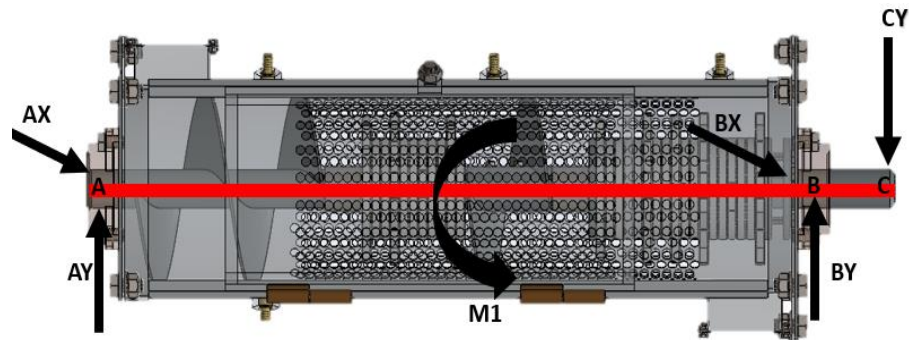


Figura 41. Diagrama de cuerpo libre (bastidor de lavado)

Obtenida la potencia total requerida para romper la inercia del sistema, podemos hallar el torque necesario del eje y la fuerza en el punto C.

#### Torque del eje:

Teniendo la ecuación 63, podemos hallar el torque del eje con los datos obtenidos de la potencia total requerida.

$$T_{eje} = \frac{7121 \times P_t}{n_{eje}} \quad (63)$$

$T_{eje}$ : Torque del eje ( $N \times m$ )

$P_t$ : Potencia total requerida (HP)

$n_{eje}$ : Velocidad de giro del eje (rpm)

$$T_{eje} = \frac{7121 \times 2}{750}$$

$$T_{eje} = 18.98 \text{ Nm}$$

#### Fuerza en el punto C:

$$F_{cy} = 1.5 \times \frac{2 \times T_{eje}}{D_{PL}} \quad (64)$$

$F_{cy}$ : Fuerza en el punto C (N)

$D_{PL}$ : Diámetro determinado (m)

$$F_{cy} = 1.5 \times \frac{2 \times 18.98}{0.16}$$

$$F_{cy} = 355.875 \text{ N}$$

### Diagrama de esfuerzos:

Con datos obtenidos como el torque del eje y la fuerza aplicada en el punto C, se ingresan en el MD Solid para poder calcular las reacciones en el punto A y B, como representan las fuerzas en la Figura 43 y cálculos en las Figuras 44 y 45.

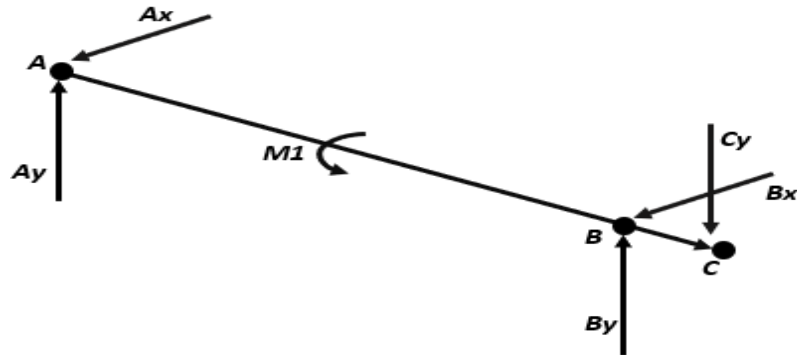


Figura 42. Representación del diagrama de fuerzas DLC

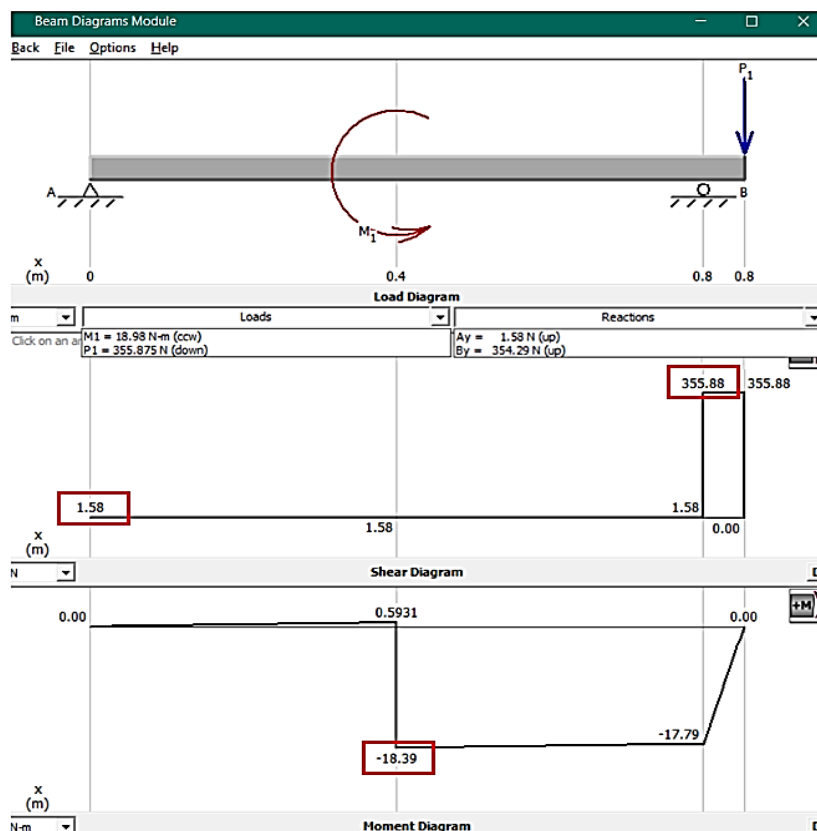


Figura 43. Diagrama de esfuerzos X-Y

Se puede visualizar en la Figura 44, el momento máximo de  $M_{max} = -18.39$  (N.m) en el punto 40 cm, como también las reacciones  $A_y = 1.58$  (N) y  $B_y = 354.29$  (N)

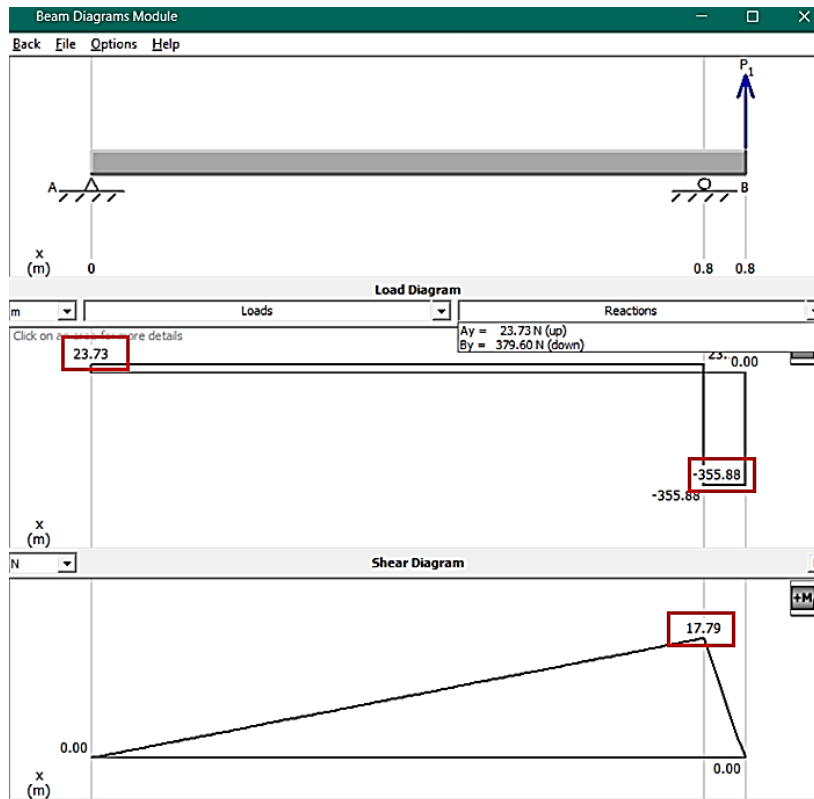


Figura 44. Diagrama de esfuerzos X-Z

Se puede visualizar en la Figura 45, el momento máximo de  $M_{max} = 17.79 \text{ (N.m)}$  en el punto 75cm, como también las reacciones  $A_z = 23.73 \text{ (N)}$  y  $B_z = -379.60 \text{ (N)}$ .

**Selección de materiales:**

Tabla 45. Propiedades mecánicas de aceros al carbono y aceros especiales

1	2	3	4	5	6	7	8
UNS núm.	SAE y/o AISI núm.	Procesa- miento	Resistencia a la tensión MPA (Kpsi)	Resistencia a la fluencia MPA (Kpsi)	Elongación en 2 pulg, %	Reducción en área, %	Dureza Brinell
G10060	1006	HR	300 [43]	170 [24]	30	55	86
		CD	330 [48]	280 [41]	20	45	95
G10100	1010	HR	320 [47]	180 [26]	28	50	95
		CD	370 [53]	300 [44]	20	40	105
G10150	1015	HR	340 [50]	190 [27.5]	28	50	101
		CD	390 [56]	320 [47]	18	40	111
G10180	1018	HR	400 [58]	220 [32]	25	50	116
		CD	440 [64]	370 [54]	15	40	126
G10200	1020	HR	380 [55]	210 [30]	25	50	111
		CD	470 [68]	390 [57]	15	40	131
G10300	1030	HR	470 [68]	260 [37.5]	20	42	137
		CD	520 [76]	440 [64]	12	35	149
G10350	1035	HR	500 [72]	270 [39.5]	18	40	143
		CD	550 [80]	460 [67]	12	35	163
G10400	1040	HR	520 [76]	290 [42]	18	40	149
		CD	590 [85]	490 [71]	12	35	170
G10450	1045	HR	570 [82]	310 [45]	16	40	163
		CD	630 [91]	530 [77]	12	35	179
G10500	1050	HR	620 [90]	340 [49.5]	15	35	179
		CD	690 [100]	580 [84]	10	30	197
G10600	1060	HR	680 [98]	370 [54]	12	30	201
G10800	1080	HR	770 [112]	420 [61.5]	10	25	229
G10950	1095	HR	830 [120]	460 [66]	10	25	248

Tomado de «Diseño de Ingeniería Mecánica de Shigley», octava edición, pág. 1050 (25).

**Acero 1020:**

Se seleccionó un acero AISI 1020, laminado en frío de la Tabla 45, por sus propiedades mecánicas, acabado superficial liso y su basta producción industrial.

$$\phi_{\text{inicial}} = 15\text{mm} = 0.015 \text{ m}$$

$$S_y = 390 \text{ MPa}$$

$$S_{\text{ut}} = 470 \text{ MPa}$$

**Análisis estático (*F. s*):**

$$F. s = \frac{S_y}{\left[ \left( \frac{32M}{\pi d^3} \right)^2 + 3 \left( \frac{16T}{\pi d^3} \right)^2 \right]^{1/2}} \quad (65)$$

Donde:

*F. s*: Factor de seguridad

*M*: Momento máximo

*S<sub>y</sub>*: Resistencia a la fluencia

*S<sub>ut</sub>*: Resistencia ultima a la tensión

Reemplazamos los datos obtenidos en la ecuación 65:

$$F. s = \frac{S_y}{\left[ \left( \frac{32M}{\pi d^3} \right)^2 + 3 \left( \frac{16T}{\pi d^3} \right)^2 \right]^{1/2}}$$

$$F. s = \frac{390 \times 10^6 \text{ N/m}^2}{\sqrt{\left( \frac{32(18.39)}{\pi(0.015)^3} \right)^2 + 3 \left( \frac{16(56.94)}{\pi(0.015)^3} \right)^2}}$$

$$F. s = 2.46$$

**Análisis por la energía de distorsión (Von Mises):**

$$K_f = 1 + q(K_t - 1) \quad (66)$$

$$K_{fs} = 1 + q_{\text{cortante}}(K_{ts} - 1) \quad (67)$$

Donde:

$q$ : Sensibilidad de muesca sometida a flexión

$q_c$ : Sensibilidad de muesca sometida a torsión

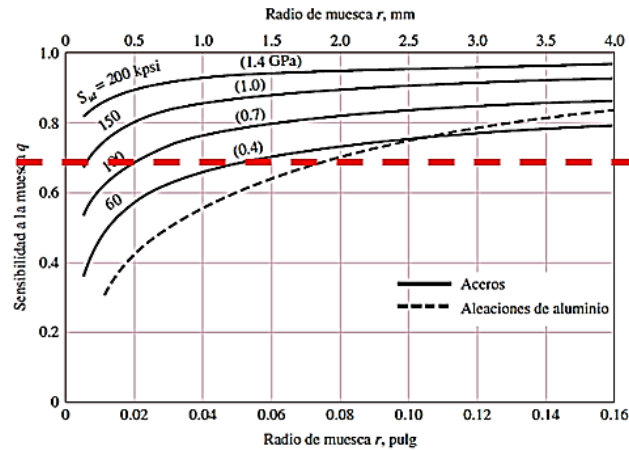


Figura 45. Diagrama de sensibilidad de muesca  $q$ .

Tomado de «Diseño de Ingeniería Mecánica de Shigley», octava edición, pág. 1050 (25).

$$q = 0.72$$

Tabla 46. factores de concentración  $K_f$

	Flexión	Torción	Axial
Filete de hombro: agudo ( $r/d = 0.02$ )	2.7	2.2	3.0
Filete de hombro: bien redondeado ( $r/d = 0.1$ )	1.7	1.5	1.9
Cuñero fresado ( $r/d = 0.02$ )	2.2	3.0	—
Cuñero de patín o trapezoidal	1.7	—	—
Ranura para anillo de retención	5.0	3.0	5.0

Tomado de «Diseño de Ingeniería Mecánica de Shigley», octava edición, pág. 361 (25).

Reemplazamos los datos obtenidos de la Figura 46 y la Tabla 46 en la ecuación 63:

$$K_f = 1 + q(K_t - 1)$$

$$q = 0.72 \quad K_t = 2.7$$

$$K_f = 2.224$$



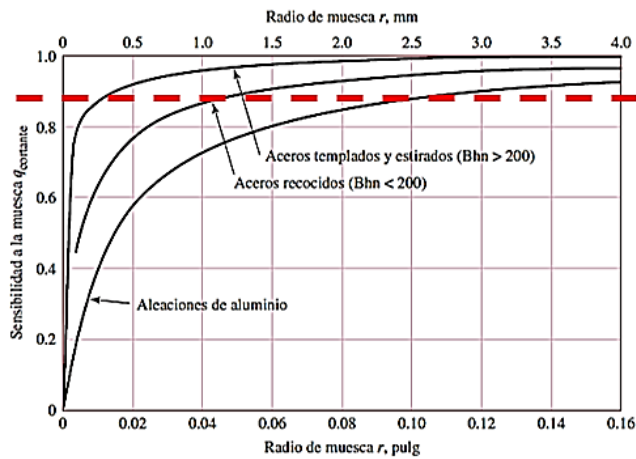


Figura 46. Diagrama de sensibilidad de muesca qc

Tomado de «Diseño de Ingeniería Mecánica de Shigley», octava edición, pág. 1050 (25).

$$qc = 0.9$$

Reemplazamos los datos de la Figura 47, obtenidos en la ecuación 64:

$$k_{fs} = 1 + qc(k_{ts} - 1)$$

$$qc = 0.9 \quad k_{ts} = 2.2$$

$$k_{fs} = 2.08$$

A continuación, se reemplaza los datos obtenidos en la ecuación 63:

$$d = \left\{ \frac{16n}{\pi S_y} [4(K_f \times M)^2 + 3(K_{fs} \times T_m)^2]^{1/2} \right\}^{1/3} \quad (68)$$

Donde:

$n$ : Factor de seguridad

$M_a$ : Momento máximo

$T_m$ : Torque

$K_f$ : Factor de concentración de esfuerzos debido a momento flector

$K_{fs}$ : Factor de concentración de esfuerzo debido a torsión

$S_y$ : Esfuerzo de fluencia

$$d = \left\{ \frac{16(2.46)}{\pi \times 390 \times 10^6} [4(2.224 \times 18.39)^2 + 3(2.08 \times 56.94)^2]^{1/2} \right\}^{1/3}$$

$$d = 0.0191m < 19.1mm$$

**Análisis de falla por fatiga (Asme elíptica):**

$$d = \left\{ \frac{16}{\pi} \left[ 4 \left( \frac{K_f M_a}{S_e} \right)^2 + 3 \left( \frac{K_{fs} T_m}{S_y} \right)^2 \right]^{1/2} \right\}^{1/3} \quad (69)$$

Donde:

$n$ : Factor de seguridad

$M_a$ : Momento máximo

$T_m$ : Torque

$K_f$ : Factor de concentración de esfuerzos por fatiga debido a momento flector

$K_{fs}$ : Factor de concentración de esfuerzo por fatiga, debido a torsión

$S_e$ : Límite de resistencia a la fatiga en la ubicación crítica de una parte de máquina en la geometría y condición de uso.

$S_y$ : Esfuerzo de fluencia

**Factor de superficie ( $K_a$ ):**

$$K_a = a S_{ut}^b \quad (70)$$

Donde:

$K_a$ : Factor de modificación de la condición superficial

Tabla 47. *Parámetros en el factor de la condición superficial de Marín*

Acabado Superficial	Factor a		Exponente b
	$S_{ut}$ , KPI	$S_{ut}$ , MPA	
Esmerilado	1.34	1.58	-0.085
Maquinado o laminado en frío	2.70	4.51	-0.265
Laminado en caliente	14.4	57.7	-0.718
Como sale de la forja	39.9	272.	-0.995

Tomado de «Diseño de Ingeniería Mecánica de Shigley», octava edición, pág. 280 (25).

Reemplazamos los datos obtenidos en la Tabla 47, en la ecuación 67:

$$K_a = a S_{ut}^b$$

$$k_a = 4.51(470)^{-0.265}$$

$$k_a = 0.88$$

**Factor de tamaño ( $K_b$ ):**

Tabla 48. Factor de tamaño  $K_b$

Factor de tamaño $K_b$ :	
$(d/0.3)^{-0.107} = 0.879d^{-0.107}$	$0.11 \leq d \leq 2$ pulg
$0.91d^{-0.157}$	$2 < d < 10$ pulg
$K_b (d/7.62)^{-0.107} = 1.24d^{-0.107}$	$2.79 \leq d \leq 51$ mm
$1.51d^{-0.157}$	$51 < d \leq 254$ mm

Tomado de «Diseño de Ingeniería Mecánica de Shigley», octava edición, pág. 280 (25).

$$k_b = \left(\frac{d}{7.62}\right)^{-0.107} \quad (71)$$

Donde:

$K_b$ : Factor de tamaño

Reemplazamos los datos obtenidos de la Tabla 47, en la ecuación 71:

$$k_b = \left(\frac{15}{7.62}\right)^{-0.107}$$

$$k_b = 0.93$$

**Límite de resistencia ( $S'_e$ ):**

Tabla 49. Límite resistencia a la fatiga  $S'_e$

Límite resistencia a la fatiga $S'_e$ :	
$0.5S_{ut}$	$S_{ut} \leq 200$ kpsi (1 400 MPa)
$S'_e$ 100 kpsi	$S_{ut} > 200$ kpsi
700 MPa	$S_{ut} > 1 400$ MPa

Tomado de «Diseño de Ingeniería Mecánica de Shigley», octava edición, pág. 280 (25).

$$S'_e = 0.5 S_{ut} \quad (72)$$

Donde:

$S'_e$ : Límite resistencia a la fatiga

Reemplazamos los datos obtenidos en la ecuación 72:

$$S'_e = 0.5 S_{ut}$$

$$S'_e = 0.5 \times 4.70$$

$$S'_e = 234.5 \text{ MPa}$$

**Límite de resistencia a la fatiga en la ubicación crítica de una parte de máquina en la geometría y condición de uso ( $S_e$ ):**

$$S_e = k_a k_b S'_e \quad (73)$$

Donde:

$S_e$ : Límite de resistencia a la fatiga en la ubicación crítica de una parte de máquina en la geometría y condición de uso.

Reemplazamos los datos obtenidos en la ecuación 73:

$$S_e = 0.88 \times 0.93 \times 234.5$$

$$S_e = 191.91 \text{ MPa}$$

A continuación, se reemplaza los datos obtenidos anteriormente para la ecuación 66:

$$d = \left\{ \frac{16}{\pi} \left[ 4 \left( \frac{KfMa}{S_e} \right)^2 + 3 \left( \frac{KfsTm}{S_y} \right)^2 \right]^{1/2} \right\}^{1/3}$$

$$d = \left\{ \frac{16(2.46)}{\pi} \left[ 4 \left( \frac{2.224 \times 18.39}{191.91 \times 10^6} \right)^2 + 3 \left( \frac{2.08 \times 56.94}{390 \times 10^6} \right)^2 \right]^{1/2} \right\}^{1/3}$$

$$d = 0.0256 \text{ m} \langle \rangle 25.60 \text{ mm}$$

**Conclusión:**

Después de realizar los cálculos de diseño y selección de eje, se obtuvo los diámetros de 19.1mm y 25.6 mm, seleccionando el de 25.6 mm, dicho diámetro no es comercial por ello seleccionamos el diámetro del eje de 1 1/8 de pulgada equivalente a 28.57 mm que es más comercial en el mercado actual.

#### 4.4.3 Diseño y selección de rodamientos

**Relación carga vida confiabilidad capacidad de carga ( $C_{10}$ ):**

$$C_{10} = F_d \left( \frac{L_D \cdot N_D \cdot 60}{10^6} \right)^{\frac{1}{3}} \quad (74)$$

Donde:

$L_D$ : Horas de vida (5000h determinado por skf)

$N_D$ : Revoluciones por minuto (750 rpm). Criterios de diseño tomados del catálogo de SKF 2020 (35).

Teniendo en cuenta la ecuación 17, podemos hallar las fuerzas en cada punto donde se coloque el rodamiento.

Donde:

$$F_d = fs \cdot F$$

$fs$ : Factor de seguridad

$F$ : Fuerza resultante de cada apoyo del eje de transmisión

Hallamos las fuerzas resultantes de cada apoyo del eje de transmisión punto A y B:

$$F_A = \sqrt{A_y^2 + A_z^2} \quad (75)$$

$$F_B = \sqrt{B_y^2 + B_z^2} \quad (76)$$

#### **Hallamos las fuerzas resultantes en el punto A:**

Reemplazamos en la ecuación 75 los datos obtenidos en el diagrama de esfuerzos de las Figuras 44 y 45.

$$F_A = \sqrt{A_y^2 + A_z^2}$$

$$F_A = \sqrt{1.58^2 + 23.73^2}$$

$$F_A = 23.78 \text{ N} \approx 0.02378 \text{ KN}$$

#### **Hallamos las fuerzas resultantes en el punto B:**

Reemplazamos en la ecuación 71 los datos obtenidos en el diagrama de esfuerzos de las Figuras 44 y 45.

$$F_B = \sqrt{B_y^2 + B_z^2}$$

$$F_B = \sqrt{354.29^2 + 379.60^2}$$

$$F_B = 519.29 \text{ N} \approx 0.51929 \text{ KN}$$

Los datos obtenidos se reemplazarán en la ecuación 17:

$$F_d = fs \cdot F_A$$

$$F_d = 2.46 \times 0.0237 \text{ KN}$$

$$Fd_A = 0.0584 \text{ KN}$$

$$F_d = f_s \cdot F_B$$

$$F_d = 2.46 \times 0.5192 \text{ KN}$$

$$Fd_B = 1.2772 \text{ KN}$$

Los datos obtenidos se reemplazarán en la ecuación 74:

$$C_{10} = Fd \left( \frac{L_D \cdot N_D \cdot 60}{10^6} \right)^{\frac{1}{3}}$$

Reemplazamos los datos obtenidos para el punto A y B:

$$C_{10A} = 0.0584 \times \left( \frac{5000 \times 750 \times 60}{10^6} \right)^{\frac{1}{3}}$$

$$C_{10A} = 0.3552 \text{ KN}$$

$$C_{10B} = 1.2772 \times \left( \frac{5000 \times 750 \times 60}{10^6} \right)^{\frac{1}{3}}$$

$$C_{10B} = 7.7681 \text{ KN}$$

### Conclusión:

Después de obtener la mayor capacidad de carga de cada apoyo y del diámetro del eje mayor obtenido anteriormente de 28.57mm, se procede a seleccionar el rodamiento, de acuerdo a las especificaciones del catálogo de SKF 2020 de la Tabla 50 y 51.

Tabla 50. Rodamientos rígidos de una hilera de bolas

Dimensiones principales			Capacidad de carga básica		Carga límite de fatiga $P_u$	Velocidades nominales		Masa kg	Designación
d	D	B	dinámica C	estática $C_0$		Velocidad de referencia	Velocidad límite		
mm			kN		kN	r. p. m.			-
25	37	7	4,	2,6	0,125	38 000	24 000	0,022	61805
	42	9	7,02	4,3	0,193	36 000	22 000	0,045	61905
	47	8	8,06	4,75	0,212	32 000	20 000	0,06	* 16005
	47	12	11,9	6,55	0,275	32 000	20 000	0,078	* 6005
	52	15	14,8	7,8	0,335	28 000	18 000	0,13	* 6205
	52	15	17,8	9,8	0,4	28 000	18 000	0,12	6205 ETN9
	62	17	23,4	11,6	0,49	24 000	16 000	0,23	* 6305
	62	17	26	13,4	0,57	24 000	16 000	0,22	6305 ETN9
	80	21	35,8	19,3	0,815	20 000	13 000	0,54	6405
	28	58	16	16,8	9,5	0,405	26 000	16 000	0,17
68		18	25,1	13,7	0,585	22 000	14 000	0,3	63/28
30	42	7	4,49	2,9	0,146	32 000	20 000	0,025	61806
	47	9	7,28	4,55	0,212	30 000	19 000	0,049	61906
	55	9	11,9	7,35	0,31	28 000	17 000	0,089	* 16006
	55	13	13,8	8,3	0,355	28 000	17 000	0,12	* 6006

Tomado del Catálogo de SKF rodamiento, 2020, pág. 324 (35).

Tabla 51. Rodamientos rígidos de una hilera de bolas - dimensiones específicas

Dimensiones	Dimensiones de resaltes y radios de acuerdo							Factores de cálculo	
	d <sub>1</sub>	D <sub>1</sub>	D <sub>2</sub>	r <sub>1,2</sub> min.	d <sub>a</sub> min.	D <sub>a</sub> máx.	r <sub>a</sub> máx.	k <sub>r</sub>	f <sub>0</sub>
mm	mm							-	
25	28,5	33,2	-	0,3	27	35	0,3	0,015	14
	30,2	36,8	37,7	0,3	27	40	0,3	0,02	15
	33,3	40,7	-	0,3	27	45	0,3	0,02	15
	32	40	42,2	0,6	28,2	43,8	0,6	0,025	14
	34,3	44	46,3	1	30,6	46,4	1	0,025	14
	33,1	44,5	-	1	30,6	46,4	1	0,025	13
	36,6	50,4	52,7	1,1	32	55	1	0,03	12
	36,3	51,7	-	1,1	32	55	1	0,03	12
	45,4	62,9	-	1,5	34	71	1,5	0,035	12
	28	37	49	51,5	1	33,6	52,4	1	0,025
	41,7	55,5	57,8	1,1	35	61	1	0,03	13
30	33,7	38,4	-	0,3	32	40	0,3	0,015	14
	35,2	41,7	42,7	0,3	32	45	0,3	0,02	14
	37,7	47,3	-	0,3	32	53	0,3	0,02	15
	38,2	46,8	49	1	34,6	50,4	1	0,025	15

Tomado del catálogo de SKF rodamiento, 2020, pág. 325 (35).

### Conclusión:

Se seleccionó el rodamiento con designación 62/28, según los datos obtenidos. Se verifica que el rodamiento de 28 mm (diámetro perteneciente al eje principal ya seleccionado) SKF por catálogo cumple con los rangos de capacidad de carga calculados, superándolos sin dificultad. Las dimensiones del rodamiento según catálogo son de un diámetro interior de 28mm, diámetro exterior de 58mm y un espesor de 16 mm.

#### 4.4.4 Selección de rodamiento con pestaña cuadrada

Siendo la chumacera parte del sistema mecánico, elige de manera que se acerque lo más posible a las necesidades de su aplicación, teniendo en cuenta el espacio, posición y forma de trabajo del sistema. Por ello, de acuerdo con la posición vertical del sistema mecánico, se optó por trabajar con una chumacera de pestaña cuadrada (chumacera de pared) la cual brinda mayor estabilidad al sistema.

Con los datos obtenidos de la capacidad de carga en los puntos de apoyo en A y B, y el diámetro del eje de diseño en la página 98, se selecciona el rodamiento con pestaña cuadrada de la Tabla 52.

Mayor capacidad de carga en el punto A: 0.3552KN

Mayor capacidad de carga en el punto B: 7.7681KN

Diámetro de eje en selección: 28.57 mm o 1 1/8 pulgada

Tabla 52. Rodamientos de bolas con pestaña cuadrada - dimensiones específicas

Designación	Dimensiones				Capacidad de carga básica		Velocidad (r/min)	Productos incluidos	
	d (mm)	J(mm)	L(mm)	T(mm)	Dinámica	Estática		Soporte	Rodamiento
					C (kN)	Co (kN)			
F4BC100-TPSS	25.4	70	99	36	1E	7.8	4 300	F4BC 505	YAR 205-100-2LPW/SS
F4BC 100-TPZM	25.4	82.6	108	36.8	19.5	11.2	4 300	F4BC 505	YAR 205-100-2LPW/ZM
F4BM 100-TF	25.4	82.6	108	431	19.5	11.2	6 300	F4B 506	YAR 206-100-2F
F4BM 100-TF-AH	25.4	69.9	95.3	631	11.9	7.8	6 300	F4B 506-AH	YAR 206-100-2F
F4BSS 100-CPSS-DFH	25.4	69.9	95.3	36.5	11.9	7.8	700	F4BSS 505	YAS 205-100-2LP1W/SS
F4BSS 100-TPSS	25.4	70	95	36.5	14	7.8	4 300	F4B95 505	YAR 205-100-2LPW/SS
FY1.FM	25.4	70	95	62.5	14	7.8	7 000	FY 505 M	YET 205-100
FY 1.LDW	25.4	70	95	640.2	14	7.8	1500	FY 505 M/VZ033	YSP 205-100 SB-2DW/AG
FY 1.TDW	25.4	70	95	38.8	14	7.8	1500	FY 505 M/VZ033	YAR 205-100-2DW/AG
FY .. TF	25.4	70	95	38.8	14	7.8	7 000	FY 505 M	YAR 205-100-2F
FY 1.WDW	25.4	70	95	65.9	14	7.8	1500	FY 505 M/VZ033	YEL 205-100-2DW/AG
FY 1.WF	25.4	70	95	65.9	14	7.8	7 000	FY 505 M	YEL 205-100-2F
FYJ 1. TF	25.4	70	95	35.8	14	7.8	7 000	FYJ 505	YAR 205-100-2F
FYWK 1. YTA	25.4	70	95	38.8	11.9	7.8	4 300	FYWK 505 Y	YAR 205-100-2RF/VE495
F4B 102-FM	28.575	82.6	108	47.6	19.5	11.2	6 300	F4B 506	YET 206-102
F4B 102-RM	28.575	82.6	108	419	19.5	11.2	6 300	F4B 506	YAT 206-102
F4B 102-TF	28.575	82.6	108	43.1	19.5	11.2	6 300	F4B 506	YAR 206-102-2F

Tomado de «Rodamientos y unidades de rodamientos SKF energéticamente eficientes» (36).

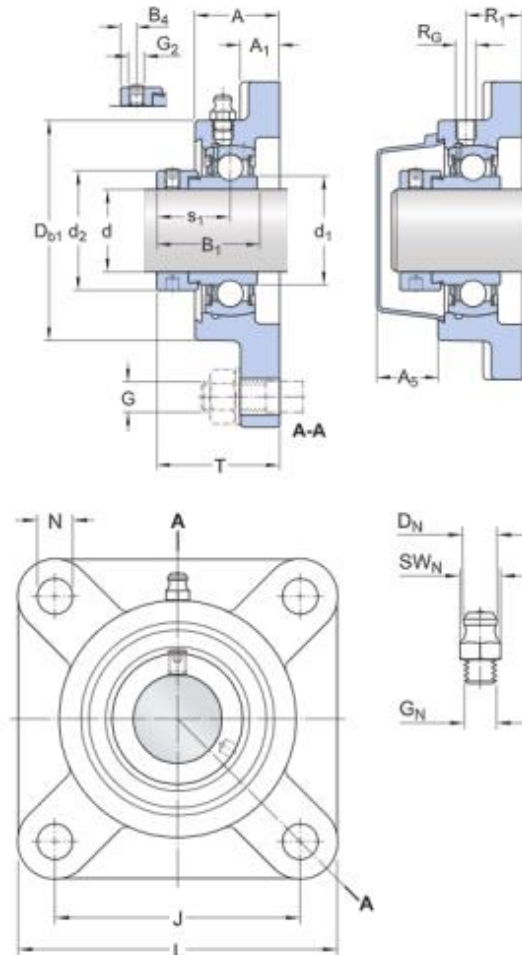


Figura 47. Geometría rodamiento con cuña cuadrada

Tomado de «Rodamientos y unidades de rodamientos SKF energéticamente eficientes» (36).



Tabla 53. *Capacidad de carga y rendimiento*

Capacidad de carga dinámica básica	C	19.5 kN
Capacidad de carga estática básica	$C_0$	11.2 kN
Carga límite de fatiga	$P_u$	0.475 kN
Velocidad límite		6 300 r/min
		Limiting speed with shaft tolerance h6

Tomado de «Rodamientos y unidades de rodamientos SKF energéticamente eficientes» (36).

Tabla 54. *Dimensiones del rodamiento con cuña cuadrada seleccionada*

d	28.575 mm	Diámetro del agujero
$d_1$	≈ 39.7 mm	Diámetro exterior del aro interior
$d_2$	44.1 mm	Diámetro exterior del anillo de fijación
A	34.3 mm	Ancho total
$A_1$	15.9 mm	Ancho de la pestaña
$A_5$	22.5 mm	Parte que sobresale de la tapa lateral
$B_1$	35.7 mm	Ancho total del rodamiento
$B_4$	5.95 mm	Distancia de la cara lateral del dispositivo de fijación al centro de la rosca
$D_{b1}$	79.4 mm	Diámetro superior externo
J	82.6 mm	Distancia entre los tornillos de fijación
L	108 mm	Longitud total
N	12.7 mm	Diámetro del agujero del tornillo de fijación
$s_1$	26.7	Distance from locking device side face to

Tomado de «Rodamientos y unidades de rodamientos SKF energéticamente eficientes» (36).

### Conclusión:

Se seleccionó el rodamiento con designación F4B 102 – FM, según los datos obtenidos. Se verifica que el rodamiento con cuña cuadrada de 28.575 mm (diámetro perteneciente al eje principal) SKF por catálogo, cumple con los rangos de capacidad de carga calculados, superándolos sin dificultad con capacidad de carga dinámica de 19.5 KN y una capacidad de carga estática de 11.2 KN. Las dimensiones del rodamiento con cuña cuadrada se mencionan en la Tabla 54.

#### 4.4.5 Diseño y selección de chavetas

##### Selección de chaveta – falla por contacto:

Teniendo en cuenta la ecuación 12:

$$L = \frac{2 * T * F.s}{D * W * 0.577S_y}$$

Para la selección de las dimensiones de la chaveta, según el diámetro del eje, se revisa la Tabla 55.

Tabla 55. Dimensiones en pulgadas de cuñas cuadradas y rectangulares

Diámetro del eje		Tamaño de la cuña		Profundidad del cuñero
Más de	Hasta (inclusive)	w	h	
$\frac{5}{16}$	$\frac{7}{16}$	$\frac{3}{32}$	$\frac{3}{32}$	$\frac{3}{64}$
$\frac{7}{16}$	$\frac{9}{16}$	$\frac{1}{8}$	$\frac{3}{32}$	$\frac{3}{64}$
$\frac{9}{16}$	$\frac{7}{8}$	$\frac{1}{8}$	$\frac{1}{8}$	$\frac{1}{16}$
		$\frac{3}{16}$	$\frac{1}{8}$	$\frac{1}{16}$
		$\frac{3}{16}$	$\frac{3}{16}$	$\frac{3}{32}$
$\frac{7}{8}$	$1\frac{1}{4}$	$\frac{1}{4}$	$\frac{3}{16}$	$\frac{3}{32}$
		$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{8}$
$1\frac{1}{4}$	$1\frac{3}{8}$	$\frac{5}{16}$	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{8}$
		$\frac{5}{16}$	$\frac{5}{16}$	$\frac{5}{32}$
$1\frac{3}{8}$	$1\frac{3}{4}$	$\frac{3}{8}$	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{8}$
		$\frac{3}{8}$	$\frac{3}{8}$	$\frac{3}{16}$
$1\frac{3}{4}$	$2\frac{1}{4}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{3}{8}$	$\frac{3}{16}$
		$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{4}$
$2\frac{1}{4}$	$2\frac{3}{4}$	$\frac{5}{8}$	$\frac{7}{16}$	$\frac{7}{32}$
		$\frac{5}{8}$	$\frac{5}{8}$	$\frac{5}{16}$
$2\frac{3}{4}$	$3\frac{1}{4}$	$\frac{3}{4}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{4}$
		$\frac{3}{4}$	$\frac{3}{4}$	$\frac{3}{8}$

Tomado de «Diseño de Ingeniería Mecánica de Shigley», octava edición, pág. 379 (25).

Donde:

$L$ : Largo de chaveta

$W$ : Tamaño de cuña ( $\frac{1}{4}$ )

$T$ : Torque (56.94Nm)

$F_s$ : Factor de seguridad (2.46)

$S_y$ : Resistencia a la fluencia (390 MPa)

$D$ : Diámetro del eje ( $28 \text{ mm} \leftrightarrow 1\frac{1}{8} \text{ pulg}$ )

Reemplazamos los datos en la ecuación 12:

$$L = \frac{2 * T * F.s}{D * W * 0.577S_y}$$
$$L = \frac{2 * 56.94 * 2.46}{0.028 * 0.000635 * 0.577 * 390 * 10^6}$$
$$L = 6.948 \text{ mm}$$

### Selección de chaveta – falla por corte:

Teniendo en cuenta la ecuación 13:

$$L = \frac{4 * T * F.s}{D * h * S_y}$$

Para la selección de las dimensiones de la chaveta, según el diámetro del eje, se revisa la Tabla 55.

Donde:

$L$ : Largo de chaveta

$h$ : Tamaño de cuña

$T$ : Torque ( $56.94 \text{ Nm}$ )

$F_s$ : Factor de seguridad ( $2.46$ )

$S_y$ : Resistencia a la fluencia ( $390 \text{ MPa}$ )

$D$ : Diámetro del eje ( $28 \text{ mm} \leftrightarrow 1\frac{1}{8} \text{ pulg}$ )

Reemplazamos los datos en la ecuación 13:

$$L = \frac{4 * T * F.s}{D * h * S_y}$$
$$L = \frac{4 * 24.1379 * 2.46}{0.028 * 0.0004762 * 390 * 10^6}$$
$$L = 4.532 \text{ mm}$$

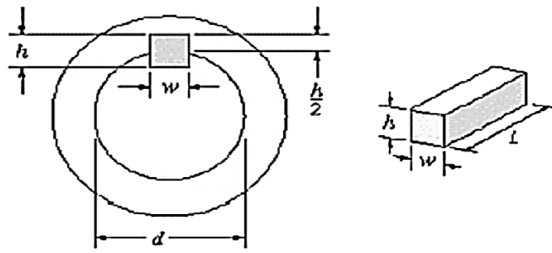


Figura 48. Geometría de cuña o chaveta

Tomado de «Diseño de Ingeniería Mecánicas de Shigley», octava edición, pág. 382 (25).

Para la chaveta seleccionada se tiene las siguientes dimensiones:

$$h = 4.627 \text{ mm}$$

$$W = 6.34 \text{ mm}$$

$$L = 6.948 \text{ mm}$$

#### Conclusión:

Después de realizar los cálculos de diseño y selección de chaveta o cuña, teniendo en cuenta el diámetro del eje de 1 1/8 de pulgada, se obtuvo las siguientes dimensiones de la chaveta, con una altura de 4.6 mm, ancho de 6.3 mm y un largo de 6.9 mm.

#### 4.4.6 Diseño y selección de bandas de transmisión

##### Selección y dimensionado de poleas:

Para este caso de diseño, se seleccionó el tipo de transmisión por bandas, de tipo v, como se muestra en la Figura 50 con respecto a las características de motor (1500 RPM – 2HP <> 1.49 KW).

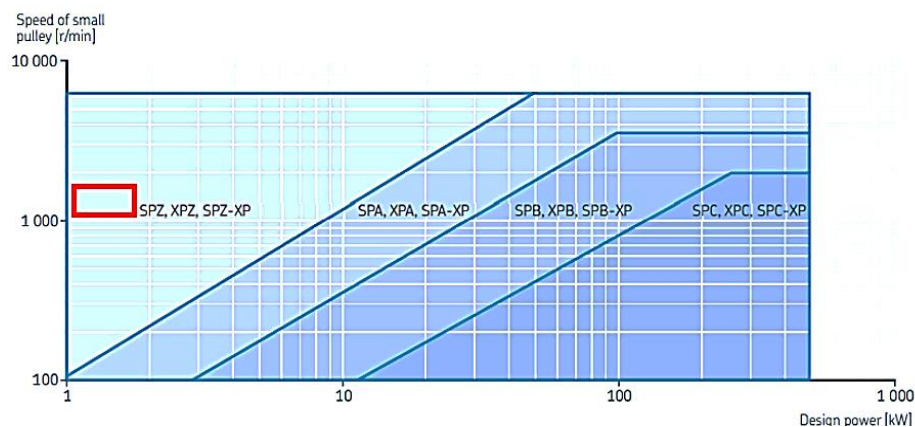


Figura 49. Diagrama de sección transversal de la correa

Tomado del catálogo de SKF bandas de transmisión, 2016, pág. 17 (37).

Teniendo una potencia de 2hp, que es equivalente a 1.49 kW y un rpm de 1500, se recomienda la selección de banda de tipo: SPZ, XPZ Y SPZ-XP. De los mencionados se seleccionó el tipo de banda SPZ.

**Cálculo de relación de transición (RT):**

$$RT = \frac{RPM \text{ motor}}{RPM \text{ pola conducida}} \quad (77)$$

Reemplazamos los datos que tenemos en la ecuación 77:

$$RT = \frac{1500}{750}$$

$$RT = 2$$

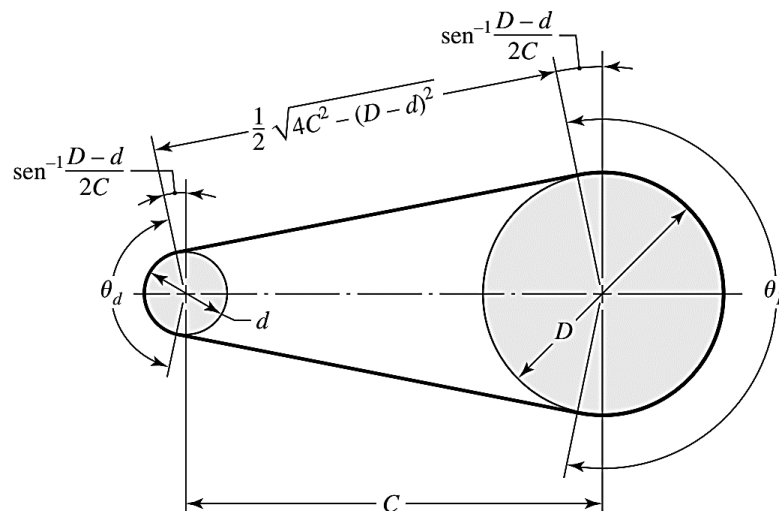


Figura 50. Geometría de bandas planas

Tomado de «Diseño de Ingeniería Mecánicas de Shigley» octava edición, pág. 861 (25).

**Selección de tamaño estándar de polea motriz:**

De acuerdo al tipo de correa ya elegido anteriormente (SPZ), podemos seleccionar el diámetro de la polea motriz para el diseño del sistema de transmisión (80 mm) de la Tabla 56.

Tabla 56. Diámetros de polea estándar recomendados para un eje más rápido

Pulleys datum diameters												
	50	56	60	63	67	71	75	80	85	90	95	100
-	-											
Z	✓*	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
A						✓*	✓	✓	✓	✓	✓	✓
B												
C												
D												
SPZ/SPZ-XP					✓*	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
SPA/SPA-XP											✓*	✓
SPB/SPB-XP												
SPC/SPC-XP												
ZX	✓*	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
AX				✓*	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
BX										✓*	✓	✓
CX												
XPZ		✓*	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
XPA							✓	✓	✓	✓	✓	✓
XPB												
XPC												

Tomado del «Catálogo de SKF bandas de transmisión», 2016, pág. 36 (37)

**Cálculo de polea conducida (D):**

$$D = RT \times d \tag{78}$$

Donde:

*D*: Diámetro mayor de la polea

*d*: Diámetro menor de la polea (polea motriz) (80mm <> 3.14 pulg)

Reemplazamos los datos que tenemos en la ecuación 78:

$$D = 2 \times 80$$

$$D = 160mm$$

Cálculo preliminar de distancia entre centros según SKF (C):

$$C_{MIN} = 0.7 (D + d) \tag{79}$$

$$C_{MAX} = 2 (D + d) \tag{80}$$

Donde:

*D*: Diámetro mayor de la polea (160mm <> 6.29pulg)

*d*: Diámetro menor de la polea (polea motriz) (80mm <> 3.14 pulg)

*C*: Distancia entre centros (264mm <> 10.393 pulg)

Reemplazamos los datos obtenidos en las ecuaciones 74 y 75:

$$C_{MIN} = 0.7 (D + d)$$

$$C_{MIN} = 0.7 (160 + 80)$$

$$C_{MIN} = 168mm$$

$$C_{MAX} = 2 (D + d)$$

$$C_{MAX} = 2 (160 + 80)$$

$$C_{MAX} = 480mm$$

Hallamos el promedio de las distancias entre centros:

$$C = \frac{C_{MAX} + C_{MIN}}{2} \quad (81)$$

$$C = \frac{480 + 168}{2}$$

$$C = 264 mm$$

#### **Selección de banda de transmisión:**

Anteriormente se seleccionó el tipo de banda para el diseño (SPZ) en la Figura 50, de esta manera procedemos a calcular el número de bandas.

#### **Cálculo de potencia de diseño de banda en v ( $P_{DB}$ ):**

$$P_{DB} = P_{TR} \times C_2 \times F_1 \quad (82)$$

Donde:

$P_{DB}$ : Potencia de diseño de la banda ( $kW$ )

$P_{TR}$ : Potencia total requerida ( $2HP \leftrightarrow 1.49kW$ )

$C_2$ : Coeficiente de servicio (-)

$F_1$ : Factor por incremento de velocidad (-)

Coeficiente de servicio según el tipo de máquina ( $C_2$ ):

Para la selección del tipo de máquina a trabajar, se optó por la clase 2 como máquina de densidad uniforme. Con un trabajo no mayor a 10 horas diarias se seleccionó el coeficiente de servicio, según el tipo de máquina 1.1 de la Tabla 57.

Tabla 57. coeficiente de servicio según el tipo de máquina C2

Types of driven machinery		Soft starts Duty time h/day 10 and under    Over 10 to 16    Over 16			Heavy starts Duty time h/day 10 and under    Over 10 to 16    Over 16		
Class 1 Light duty	Blowers, exhausters and fans (up to 7,5 kW), centrifugal compressors and pumps. Belt conveyors (uniformly loaded).	1.0	1.1	1.2	1.1	1.2	1.3
Class 2 Medium duty	Agitators (uniform density), blowers, exhausters and fans (over 7,5 kW). Rotary compressors and pumps (other than centrifugal). Belt conveyors (not uniformly loaded), generators and excitors, laundry machinery, lineshafts, machine tools, printing machinery, sawmill and woodworking machinery, screens (rotary).	1.1	1.2	1.3	1.2	1.3	1.4
Class 3 Heavy duty	Agitators and mixers (variable density), brick machinery, bucket elevators, compressors and pumps (reciprocating), conveyors (heavy duty). Hoists, mills (hammer), pulverisers, punches, presses, shears, quarry plant, rubber machinery, screens (vibrating), textile machinery.	1.2	1.3	1.4	1.4	1.5	1.6
Class 4 Extra heavy duty	Crushers (gyratory-jaw roll), mills (ball-rod-tube).	1.3	1.4	1.5	1.5	1.6	1.8

Tomado del «Catálogo de SKF bandas de transmisión», 2016, pág. 16 (37).

$$C_2 = 1.1$$

**Factor de incremento de velocidad ( $F_1$ ):**

Para la selección del factor de aumento de velocidad, se toma en cuenta la relación de transición calculada anteriormente que es de ( $RT = 2$ ), con este dato se selecciona el factor de incremento de velocidad 1.11 de la Tabla 58.

Tabla 58. Relación de aumento de velocidad

Speed increase ratio
For speed increasing drives of
Speed ratio 1,00–1,24 multiply service factor by 1,00
Speed ratio 1,25–1,74 multiply service factor by 1,05
Speed ratio 1,75–2,49 multiply service factor by 1,11
Speed ratio 2,50–3,49 multiply service factor by 1,18
Speed ratio 3,50 and over multiply service factor by 1,25

Tomado del « Catálogo de SKF bandas de transmisión», 2016, pág. 16 (37).

$$F_1 = 1.11$$

Reemplazamos los datos obtenidos en la ecuación 82:



$$P_{DB} = P_{TR} \times C_2 \times F_1$$

$$P_{DB} = 1.49 \times 1.1 \times 1.11$$

$$P_{DB} = 1.81 \text{ KW}$$

**Cálculo de longitud de banda en v:**

$$L_B = 2 \times C + \frac{\pi \times (D + d)}{2} + \frac{(D - d)^2}{4 \times C} \quad (83)$$

Donde:

$L_B$ : Longitud de banda (mm)

$D$ : Diámetro mayor de la polea (160mm)

$d$ : Diámetro menor de la polea (polea motriz) (80mm)

$C$ : Distancia entre centros (264mm )

Reemplazamos los datos obtenidos en la ecuación 83:

$$L_B = 2 \times 264 + \frac{\pi \times (160 + 80)}{2} + \frac{(160 - 80)^2}{4 \times 264}$$

$$L_B = 911.051 \text{ mm} \approx 0.911 \text{ m}$$

Con los datos obtenidos, tipo de banda SPZ y la longitud de banda de 911mm, se seleccionó las características geométricas del tipo de banda a trabajar con el diseño, como se muestra en la Figura 52 y Tabla 59.

**SKF Wrapped Wedge Belts**  
SPZ | SPA

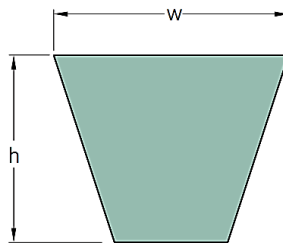


Figura 51. Cinturones de cuña envueltos

Tomado del «Catálogo de SKF bandas de transmisión», 2016, pág. 82 (37).

Tabla 59. Geometría de la banda seleccionada

Section	Dimensions			Designation
	Pitch length	w	h	
-	mm			-
SPZ	512	9,7	8	PHG SPZ512
	560	9,7	8	PHG SPZ560
	562	9,7	8	PHG SPZ562
	587	9,7	8	PHG SPZ587
	612	9,7	8	PHG SPZ612
	887	9,7	8	PHG SPZ887
	900	9,7	8	PHG SPZ900
	912	9,7	8	PHG SPZ912
	925	9,7	8	PHG SPZ925
	937	9,7	8	PHG SPZ937
	950	9,7	8	PHG SPZ950
	962	9,7	8	PHG SPZ962
	987	9,7	8	PHG SPZ987
	1 000	9,7	8	PHG SPZ1000
	1 010	9,7	8	PHG SPZ1010

Tomado del «Catálogo de SKF bandas de transmisión», 2016, pág. 82 (37).

**Cálculo de número de bandas en V ( $N_B$ ):**

$$N_B = \frac{P_{DB}}{RP_B} \quad (84)$$

Donde:

$N_B$ : Numero de bandas

$P_{DB}$ : Potencia de diseño de la banda ( $kW$ )

$RP_B$ : Radio de potencia de la banda en V ( $kW$ )

**Cálculo de radio de potencia de banda en v ( $RP_B$ ):**

$$RP_B = PN_B \times C_1 \times C_3 \quad (85)$$

Donde:

$RP_B$ : Radio de potencia de banda en V ( $kW$ )

$PN_B$ : Potencia nominal de banda en V ( $kW$ )

$C_1$ : Factor de corrección por longitud (-)

$C_3$ : Factor de corrección por arco de contacto (-)

**Cálculo de potencia nominal de banda en V ( $PN_B$ ):**

La potencia nominal es determinada por el proveedor teniendo en cuenta el rpm del motor seleccionado ( $2hp \llcorner 1500 \text{ rpm}$ ) en la Tabla 60.

Tabla 60. Potencias nominales sección SPZ-XP/3V-XP

Faster shaft speed r/min	Rated power per belt for small pulley datum diameter [mm]												Additional power per belt for speed ratio			
	67	71	75	80	85	90	95	100	112	125	132	140	1.00 to 1.05	1.06 to 1.24	1.25 to 1.59	> 1.59
	kW												kW			
100	0.13	0.15	0.16	0.18	0.20	0.22	0.24	0.25	0.30	0.35	0.37	0.40	0.00	0.01	0.01	0.01
500	0.53	0.60	0.67	0.75	0.83	0.92	1.00	1.08	1.28	1.49	1.61	1.74	0.01	0.04	0.06	0.07
720	0.72	0.82	0.91	1.03	1.15	1.26	1.38	1.50	1.77	2.07	2.23	2.41	0.01	0.05	0.09	0.10
800	0.79	0.89	1.00	1.13	1.26	1.39	1.51	1.64	1.95	2.27	2.45	2.65	0.01	0.06	0.10	0.11
900	0.87	0.99	1.10	1.25	1.39	1.53	1.68	1.82	2.16	2.52	2.72	2.94	0.01	0.07	0.11	0.12
960	0.92	1.04	1.16	1.32	1.47	1.62	1.78	1.93	2.29	2.67	2.88	3.11	0.02	0.07	0.11	0.13
1000	0.95	1.08	1.21	1.36	1.52	1.68	1.84	2.00	2.37	2.77	2.98	3.23	0.02	0.07	0.12	0.14
1100	1.03	1.17	1.31	1.48	1.65	1.83	2.00	2.17	2.58	3.01	3.24	3.51	0.02	0.08	0.13	0.15
1200	1.10	1.25	1.41	1.59	1.78	1.97	2.15	2.34	2.78	3.25	3.50	3.79	0.02	0.09	0.14	0.17
1300	1.18	1.34	1.50	1.71	1.91	2.11	2.31	2.51	2.98	3.49	3.76	4.06	0.02	0.09	0.15	0.18
1400	1.25	1.42	1.60	1.82	2.03	2.25	2.46	2.67	3.18	3.72	4.01	4.33	0.02	0.10	0.17	0.19
1440	1.28	1.46	1.64	1.86	2.08	2.30	2.52	2.74	3.26	3.81	4.10	4.44	0.02	0.10	0.17	0.20
1500	1.32	1.51	1.69	1.92	2.15	2.38	2.61	2.84	3.37	3.95	4.25	4.60	0.02	0.11	0.18	0.21
1600	1.37	1.57	1.77	2.00	2.23	2.46	2.70	2.93	3.50	4.17	4.47	4.80	0.03	0.12	0.19	0.22
1700	1.46	1.67	1.88	2.14	2.39	2.65	2.90	3.15	3.75	4.39	4.73	5.12	0.03	0.12	0.20	0.24

Tomado del «Catálogo de SKF bandas de transmisión», 2016, pág. 58 (37).

$$PN_B = 1.92 + 0.21$$

$$PN_B = 2.13 \text{ KW}$$

**Factor de corrección de banda en V ( $C_1$ ):**

Para la selección del factor de corrección, se toma en cuenta la longitud de banda seleccionada en la Tabla 60 ( $L_B = 912 \text{ mm}$ ). Para un valor más exacto, se interpola los valores, como se muestra en la Tabla 62.

Tabla 61. Factor de corrección de la longitud de la correa ( $C_1$ ).

Belt length	Correction factor										
	SPZ	SPA	SPB	SPC	8V	Z	A	B	C	D	
	SPZ-XP	SPA-XP	SPB-XP	SPC-XP	8V-XP	ZX	AX	BX	CX		
	XPZ	XPA	XPB	XPC							
	3V		5V								
	3V-XP		5V-XP								
	3VX		5VX								
mm	-										
400	0.50					0.87	0.68				
475	0.65					0.90	0.74	0.64			
530	0.74					0.93	0.78	0.70			
630	0.82	0.77				0.96	0.81	0.76			
710	0.84	0.79				0.99	0.83	0.78			
900	0.88	0.83	0.76			1.05	0.87	0.82	0.73		
1000	0.90	0.85	0.78			1.06	0.89	0.84	0.76		
1120	0.93	0.87	0.80			1.08	0.91	0.86	0.78		
1250	0.95	0.89	0.82			1.11	0.93	0.88	0.80		
1400	0.96	0.91	0.84	0.70		1.14	0.96	0.90	0.82		
1600	1.00	0.93	0.86	0.74		1.17	0.99	0.93	0.84		
1800	1.01	0.95	0.88	0.77		1.22	1.01	0.95	0.86		

Tomado del «Catálogo de SKF bandas de transmisión», 2016, pág. 40 (37).

Tabla 62. Interpolación ( $C_1$ )

Belt Length	Correction factor
900	0.88
912	X=0.8824
1000	0.90

Factor de corrección por arco de contacto ( $C_3$ ):

$$F1 = \frac{D - d}{C} \quad (86)$$

$$F1 = \frac{160 - 80}{264}$$

$$F1 = 0.303$$

Tabla 63. Arco de factor de corrección de potencia de contacto ( $C_3$ )

$\frac{D-d}{CC} *$	Arc of contact on small pulley	Arc of contact correction factor $C_3$
mm	deg.	-
0,00	180	1,00
0,05	177	0,99
0,10	174	0,99
0,15	171	0,98
0,20	169	0,97
0,25	166	0,97
0,30	163	0,96
0,35	160	0,95
0,40	157	0,94
0,45	154	0,93
0,50	151	0,93
0,55	148	0,92
0,60	145	0,91
0,65	142	0,90
0,70	139	0,89

Tomado del «Catálogo de SKF bandas de transmisión», 2016, pág. 40 (37).

$$C_3 = 0.96$$

Reemplazamos los datos obtenidos en la ecuación 85:

$$RP_B = PN_B \times C_1 \times C_3$$

$$RP_B = 2.13 \times 0.8824 \times 0.96$$

$$RP_B = 1.80 \text{ KW}$$

Reemplazamos los datos obtenidos en la ecuación 84:

$$N_B = \frac{P_{DB}}{RP_B}$$

$$N_B = \frac{1.81}{1.80}$$

$$N_B = 1.005 <> 1$$

### Conclusión:

Después de realizar los cálculos de diseño y selección de bandas de transmisión se eligió el tipo de transmisión por banda en V del tipo SPZ de una banda, según el catálogo SKF, 2016.

### 4.4.7 Diseño de tolva

#### Cálculo de volumen de tolva

El cálculo del volumen o capacidad de la tolva se realizó a través del programa SolidWorks, después del diseño general se realizó el llenado total de la tolva de sección vertical para realizar el análisis de sus propiedades físicas generales, como se muestra en la Figura 53.

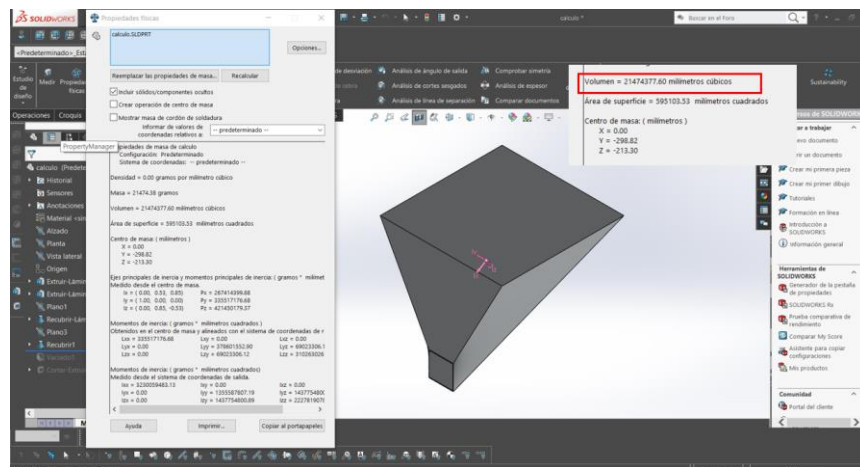


Figura 52. Propiedades físicas de la tolva de suministro

Después de realizar el diseño de la tolva de ingreso de material, se realizó el cálculo del volumen mediante el programa SolidWorks, con una  $21474377.6 \text{ mm}^3$  que es igual a  $0.021474 \text{ m}^3$ .

$$V = 0.021474 \text{ m}^3$$

Reemplazamos el volumen obtenido en la ecuación 87 para hallar la masa o capacidad de la tolva en kilogramos.

$$m = \rho * V \quad (87)$$

$m$ : Masa ( $kg$ )

$\rho$ : Densidad del café ( $380 \frac{kg}{m^3}$ )

$V$ : Volumen de la tolva ( $0.0.021474 m^3$ )

$$m = 800 \frac{kg}{m^3} * 0.0.021474 m^3$$

$$m = 17.18 kg$$

### Cálculo de ángulo de inclinación de tolva

Según diseños de tolvas del ingeniero Ramiro Suice Bonifacio, la inclinación adecuada para el diseño de tolvas es de acuerdo al material que se va a suministrar y que este fluya por sí mismo, lo que es igual o mayor al ángulo de reposo del material más 15 grados, como se muestra en la ecuación 88.

$$\beta = \alpha + 15^\circ \quad (88)$$

$\beta$ : Ángulo de inclinación para diseño

$\alpha$ : Ángulo de reposo del café

De acuerdo a CENICAFE (17), después de realizar las pruebas para el análisis del ángulo de reposo en sus distintas etapas, se concluyó que el ángulo de reposo del café en almendra es de  $27.8^\circ$  y de café lavado de  $29.2^\circ$ .

Se obtuvo el promedio del ángulo de reposo del café.

$$\alpha = \frac{29.2 + 27.8}{2}$$

$$\alpha = 28.5^\circ$$

Reemplazamos los datos en la ecuación 88.

$$\beta = 28.5^\circ + 15^\circ$$

$$\beta = 43.5^\circ$$

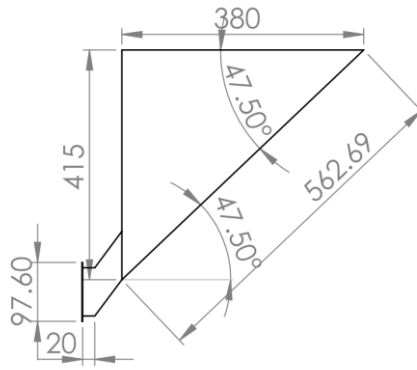


Figura 53. Medidas y ángulo de inclinación de la tolva de diseño

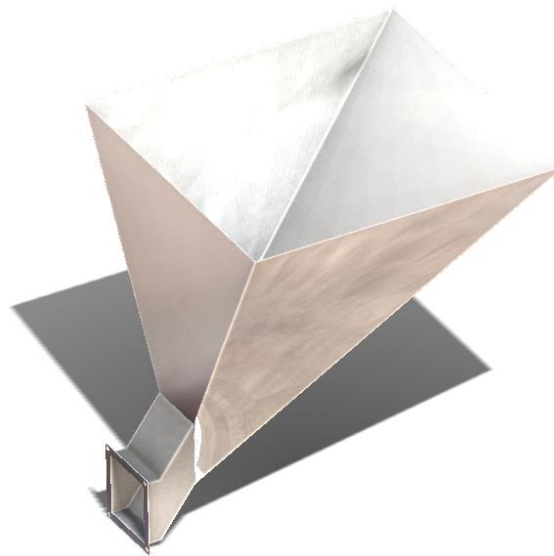


Figura 54. Tolva de abastecimiento de café

#### Conclusión:

Después de realizar los cálculos de diseño y selección para geometría de la tolva, se determinó un ángulo de inclinación de  $43.5^\circ$ . Como se muestra en la Figura 52, el ángulo del diseño de la tolva de abastecimiento es de  $47.5^\circ$ , siendo el ángulo mayor es aceptable, la tolva también cuenta con una capacidad de 17.18 kg, las dimensiones y características se muestran en las Figuras 54 y 55.

#### 4.4.8 Cálculo de consumo de agua y selección de componentes

El caudal se halló de manera práctica, mediante el tiempo en que las mangueras llenaron un balde de 1 litro en 7.5 segundos. Eso se resolvería si:

Emplazamos los datos en la ecuación 45:

$$Q = \frac{1}{7.5}$$

$$Q = 0.133 \text{ Lt/s}$$

La cantidad total agua utilizada en la máquina, por el tiempo de una hora de funcionamiento, se puede hallar de la siguiente manera:

Emplazamos los datos en la ecuación 46:

$$C_t = \frac{1 * 3600}{7.5}$$

$$C_t = 480 \text{ Lt}$$

El consumo de agua se halló de manera práctica, recolectando los datos de la maquina en funcionamiento. De los cálculos podemos presumir que el consumo de agua de la máquina es 0.67 lt de agua por 1 kg de café.

Emplazamos los datos en la ecuación 48:

$$C_A = \frac{480}{720}$$

$$C_A = 0.67 \text{ Lt/Kg}$$

### **Conclusión**

La cantidad de agua que se consume en la maquina lavadora de café es de 0.67 lt/kg y la cantidad consumida en una hora de funcionamiento es de 480 litros por 720 kg de café. De esta manera, podemos garantizar el lavado de los granos, utilizando solo el agua necesaria para tal fin.

### **Selección de la bomba de agua:**

Para la bomba de agua, debido a su bajo caudal, seleccionamos una bomba sumergible de 600 Lt/h la cual es apropiada para este sistema, con esta bomba podremos recuperar y reutilizar un porcentaje del agua miel.

Considerando los cálculos de consumo de agua, nuestro sistema de lavado demanda un caudal de 480 Lt/h, procederemos a seleccionar una bomba que pueda cumplir de manera óptima el recircular del agua, para esto seleccionamos una bomba sumergible, la cual tiene como caudal de trabajo 600 Lt/h. En la Tabla 64 podemos ver una ficha técnica de la bomba seleccionada.



Tabla 64. característica de la bomba seleccionada

Bomba Modelo WP- 3300	
Voltaje	220V – 240V
Fuerza	12W
Caudal	600l/h
Frecuencia	50/60 Hz
Altura máxima	110 cm
Dimensiones físicas	6.5x5.5x4 cm

Tomado de «Catálogo de bombas Buyo», ficha técnica, Anexo 8.



Figura 55. Ficha técnica de bomba WP 3300

Tomado de «Catálogo de bombas Buyo», ficha técnica, Anexo 8.

### Selección de mangueras

Debido a que nuestro caudal y presión son relativamente bajos y no requieren de algún tipo de manguera hidráulica o de altas presiones, procedimos a seleccionar una manguera convencional para el sistema de lavado. En la Figura 57, podemos ver una ficha técnica de la manguera seleccionada.

**TRUPER**

**METRO DE MANGUERA 3/8" DE NIVEL EN ROLLO DE 100 M**

**TRUPER**  
CÓDIGO: 19862 CLAVE: MAN-3/8N



**CARACTERÍSTICAS**

- Fabricada en PVC flexible transparente
- Uso general para conducción de líquidos no abrasivos

**HECHO EN MÉXICO**

\*La foto del producto no necesariamente corresponde a la medida del producto

**ESPECIFICACIONES**

<b>Largo</b>	100 m
<b>Diámetro</b>	3/8" (9,5 mm)
<b>Espesor de pared</b>	1 mm
<b>Presión de trabajo a 23°C</b>	71 PSI 5 kg/cm <sup>2</sup>
<b>Peso por metro</b>	41 g
<b>Empaque individual</b>	Rollo
<b>Inner</b>	100

Figura 56. Ficha técnica de manguera 3/8

Tomado de Ficha técnica de manguera transparente, TRUPER, Anexo 9.

## 4.5 Modelamiento y simulación

El análisis, modelamiento y simulación de los elementos y componentes de la máquina se realizaron a través de la simulación de elementos finitos con software SolidWorks – Simulación.

### 4.5.1 Estructura de soporte

Se muestra el primer análisis y simulación de elementos finitos a través del software SolidWorks. La estructura o bastidor de soporte se compone de ángulos estructurales seleccionados por sus cualidades mecánicas con la norma ASTM A36 L30 x 30 x 3mm de pulgada. De acuerdo al diseño, los puntos de sujeción y soldadura se definieron los puntos de apoyo y carga para el análisis de esfuerzos, desplazamientos, desplazamiento unitario y factor de seguridad del ensamble de la estructura.

Después de terminar los puntos de apoyo y carga, el análisis de elementos finitos crea una malla de estudio, donde se aplicó puntos de apoyo fijo en las patas de la estructura y las cargas. De acuerdo al diseño son: soportes del lavador a 200 kgf, soporte del motor y marco de

la estructura a 100 kgf y los soportes del filtro a 10kgf, los resultados obtenidos se muestran en las Figuras 58, 59 y 60.

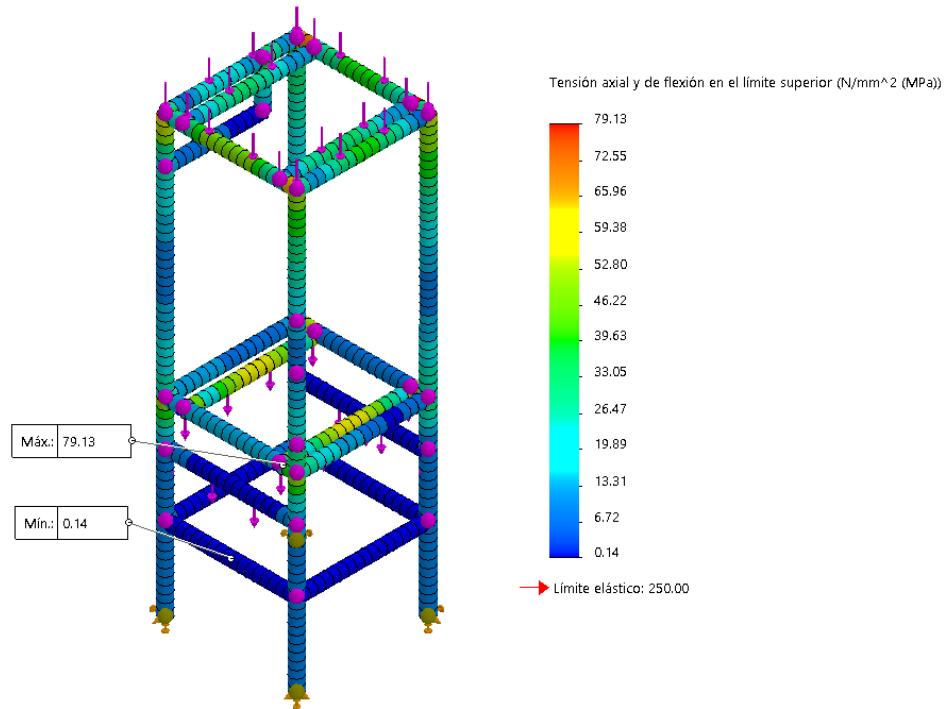


Figura 57. Diagrama de esfuerzos, tensión axial y flexión (Von Mises) de la estructura

**NOTA:** El esfuerzo máximo es de 79.13 Mpa, siendo el límite elástico del material de 250 Mpa, por lo tanto, el esfuerzo máximo está dentro del límite elástico, el diseño es aceptable.

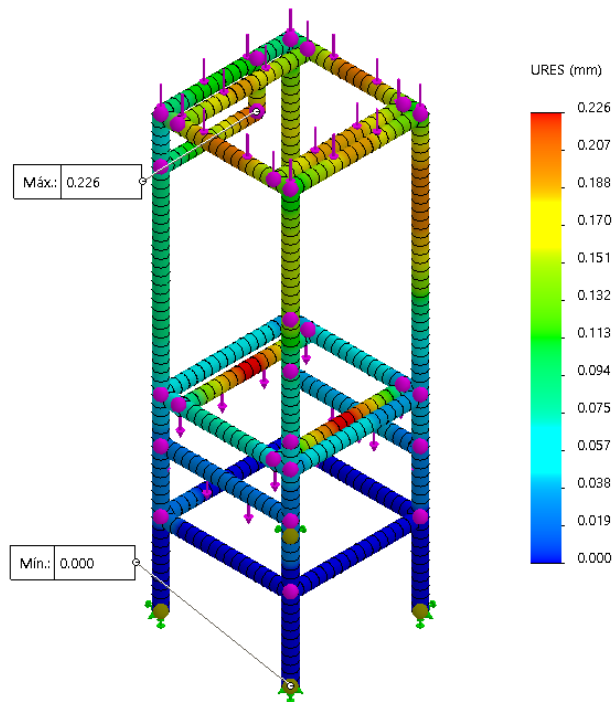


Figura 58. Diagrama del desplazamiento de la estructura

**NOTA:** El desplazamiento máximo es de 0.226mm siendo mínimo el valor, el diseño es aceptable.

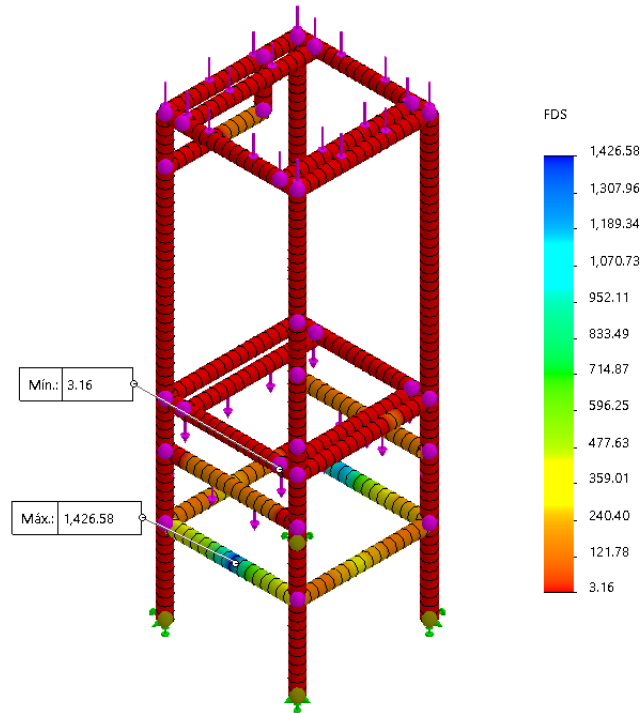


Figura 59. Diagrama determinación del factor de seguridad de la estructura

**NOTA:** El factor de seguridad mínimo es de 3.16 mayor a 1.5, que es requerido para diseño, por lo cual, concluimos que el diseño es aceptable.

Tabla 65. Análisis de los resultados de simulación de la estructura

Resultados de la Simulación		Propiedades mecánicas (ASTM A36)		Análisis de resultados
Tensión (Máximo esfuerzo – Von Mises)	<b>(79.13 MPa)</b>	<b>250 MPa</b>	Límite elástico	<b>El esfuerzo máximo es aceptable, porque el límite elástico es mayor.</b>
Máximo desplazamiento resultante	<b>(0.226mm)</b>	<b>400 MPa</b>	Límite a la tracción	
Máximo desplazamiento unitario	-	<b>0.26</b>	Coefficiente de Poisson	
Mínimo factor de seguridad	<b>3.16</b>	<b>Las medidas y parámetros de diseño establecidos son adecuados, lo cual es corroborado por el factor de seguridad que es mayor a 1.5.</b>		

#### 4.5.2 Bastidor del sistema de lavado

El segundo análisis y simulación de elementos finitos, a través del software SolidWorks. El bastidor de lavado está compuesto por láminas de acero inoxidable, seleccionadas por sus cualidades en el área de la industria alimentaria y resistentes al óxido de acuerdo a la norma AISI 304 con un espesor de 2.5 de espesor. De acuerdo al diseño de los puntos de sujeción y soldadura, se definieron los puntos de apoyo y carga para el análisis de esfuerzos, desplazamientos, desplazamiento unitario y factor de seguridad del ensamble de la estructura.

Después de terminar los puntos de apoyo y carga, el análisis de elementos finitos crea una malla de estudio, donde se aplicó puntos de apoyo fijo al contorno superior e inferior del bastidor y las cargas de acuerdo al diseño son: del interior de bastidor a la estructura de 100kgf para un caso crítico de carga. Los resultados obtenidos se muestran en las Figuras 61 a 64.

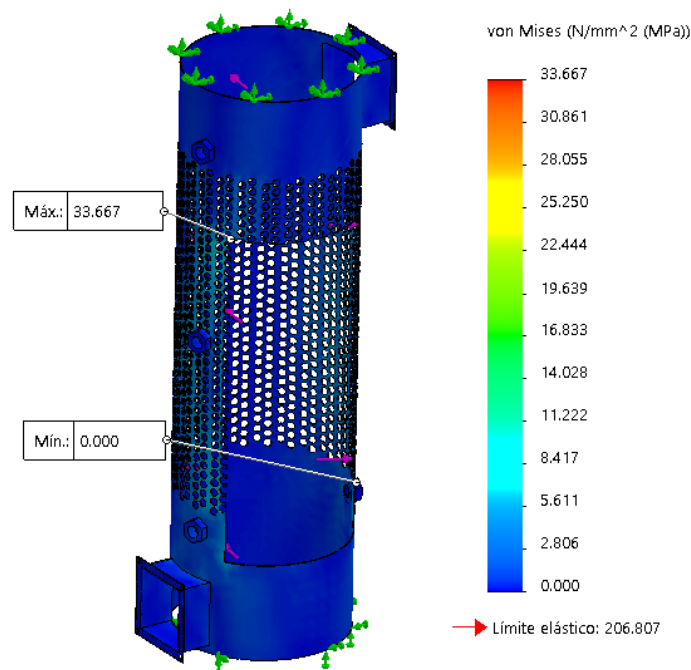


Figura 60. Diagrama de esfuerzos, tensión axial y flexión (Von Mises) del bastidor de lavado

**NOTA:** El esfuerzo máximo es de 33.67 Mpa, siendo el límite elástico del material de 206.807 Mpa, por lo tanto, el esfuerzo máximo está dentro del límite elástico, el diseño es aceptable.

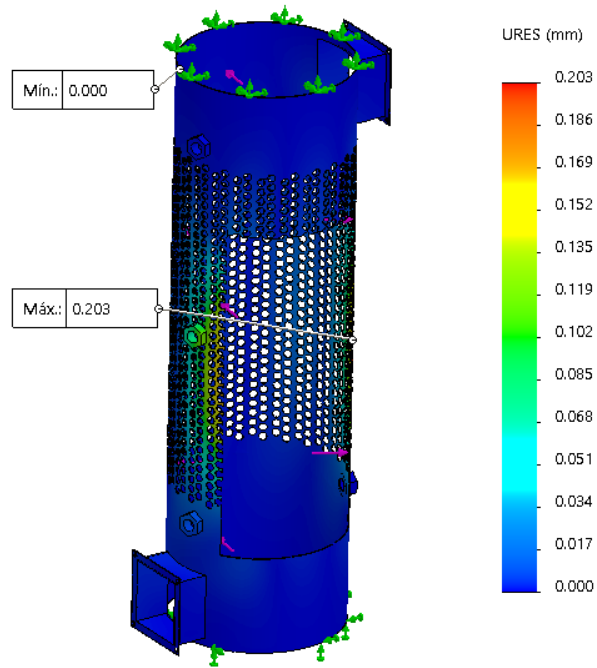


Figura 61. Diagrama del desplazamiento del bastidor de lavado

**NOTA:** El desplazamiento máximo es de 0.203mm, siendo mínimo el valor, el diseño es aceptable.

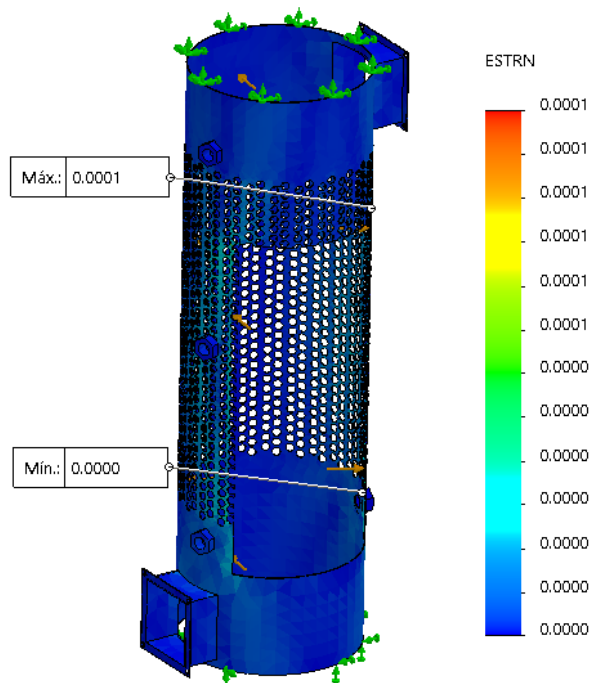


Figura 62. Diagrama de la deformación unitaria del bastidor de lavado

**NOTA:** La deformación unitaria máxima es de 0.0001 por unidad de longitud, siendo mínimo el valor, por lo cual, concluimos que el diseño es aceptable.

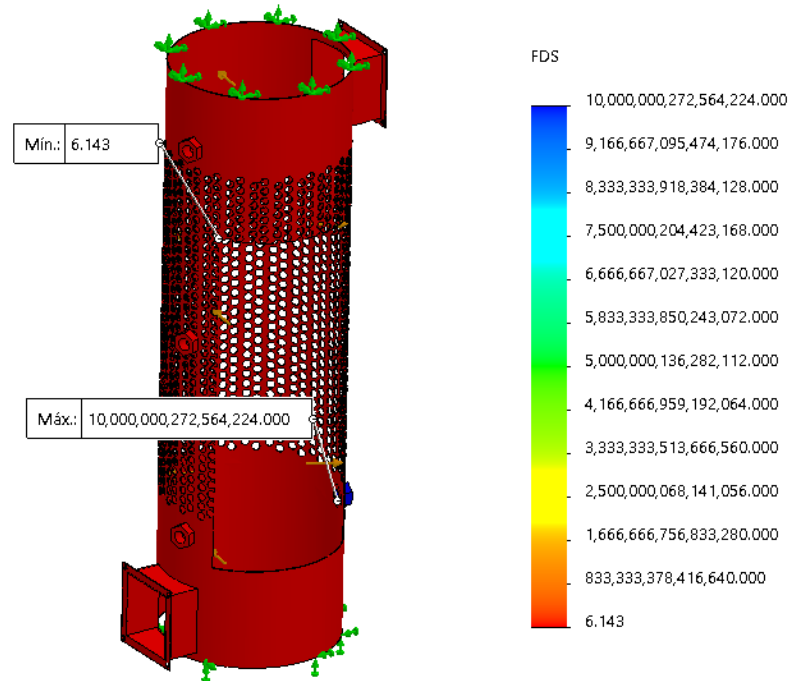


Figura 63. Diagrama determinación del factor de seguridad del bastidor de lavado

**NOTA:** El factor de seguridad mínimo es de 6.14 mayor a 1.5 ,que es requerido para diseño, por lo cual, concluimos que el diseño es aceptable.

Tabla 66. Análisis de los resultados de simulación del bastidor de lavado

Resultados de la Simulación		Propiedades mecánicas (AISI 304)		Análisis de resultados
Tensión (Máximo esfuerzo – Von Mises)	<b>(33.66 MPa)</b>	<b>206.807 MPa</b>	Límite elástico	<b>El esfuerzo máximo es aceptable, porque el límite elástico es mayor.</b>
Máximo desplazamiento resultante	<b>0.203mm</b>	<b>517.107 MPa</b>	Límite a la tracción	
Máximo desplazamiento unitario	<b>0.0001</b>	<b>0.29</b>	Coefficiente de Poisson	
Mínimo factor de seguridad	<b>6.14</b>	<b>Las medidas y parámetros de diseño establecidos son adecuados, lo cual es corroborado por el factor de seguridad que es mayor a 1.5.</b>		

### 4.5.3 Puerta del bastidor del sistema de lavado

El tercer análisis y simulación de elementos finitos a través del software SolidWorks. La puerta del bastidor de lavado está compuesta por láminas de acero inoxidable, seleccionadas por sus cualidades en el área de la industria alimentaria y resistentes al óxido, de acuerdo a la norma AISI 304, con un espesor de 2.5 más un marco de acero estructural. De acuerdo al diseño, los puntos de sujeción y soldadura se definieron los puntos de apoyo y carga para el análisis de esfuerzos, desplazamientos, desplazamiento unitario y factor de seguridad del ensamble de la estructura, como se muestra en las Figuras 65 a 68.

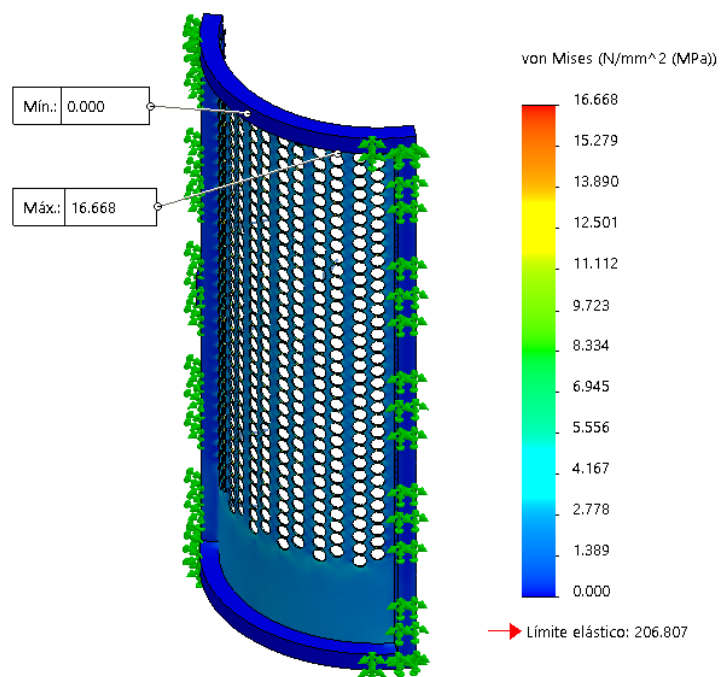


Figura 64. Diagrama de esfuerzos, tensión axial y flexión (Von Mises) de la puerta del bastidor de lavado

**NOTA:** El esfuerzo máximo es de 16.67 Mpa, siendo el límite elástico del material de 206.807 Mpa, por lo tanto el esfuerzo máximo está dentro del límite elástico, el diseño es aceptable.



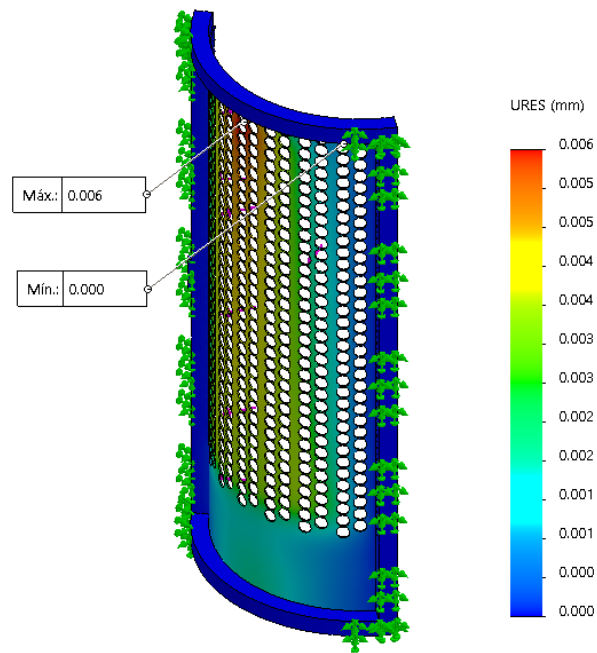


Figura 65. Diagrama del desplazamiento de la puerta del bastidor de lavado

**NOTA:** El desplazamiento máximo es de 0.006 mm, siendo mínimo el valor, el diseño es aceptable.

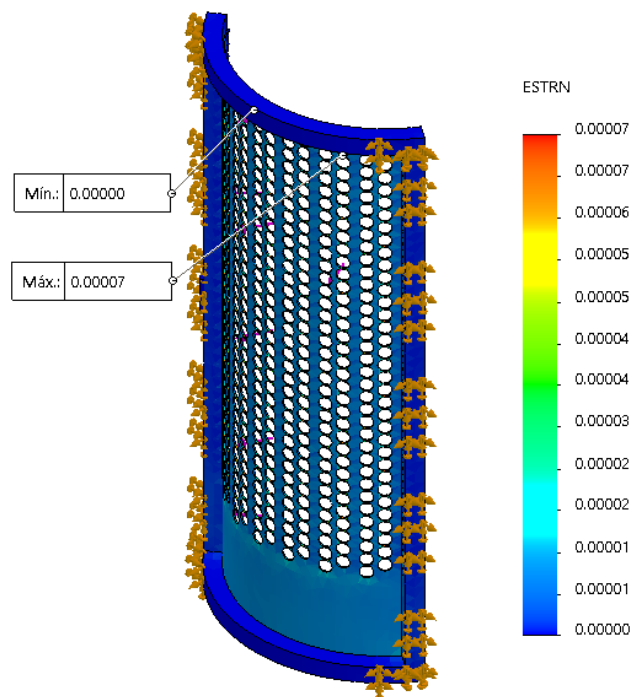


Figura 66. Diagrama de la deformación unitaria de la puerta del bastidor de lavado

**NOTA:** La deformación unitaria máxima es de 0.00007 por unidad de longitud, siendo mínimo el valor, por lo cual concluimos que el diseño es aceptable.

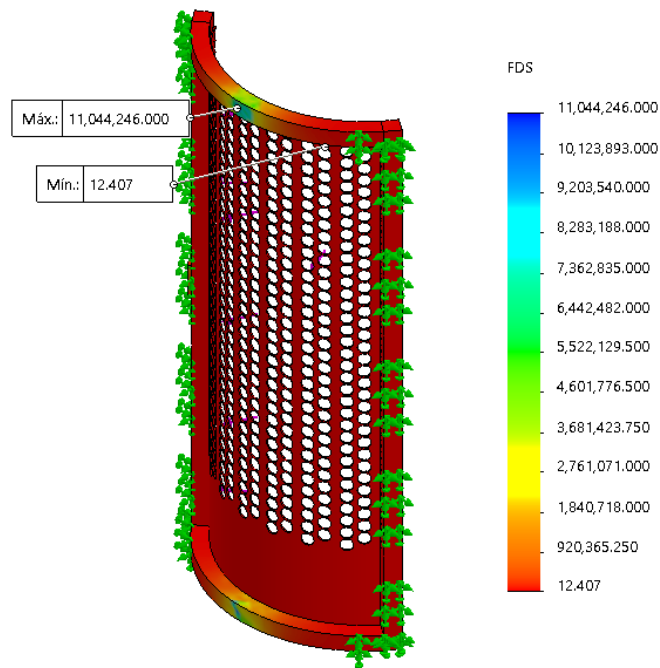


Figura 67. Diagrama determinación del factor de seguridad de la puerta del bastidor de lavado

**NOTA:** El factor de seguridad mínimo es de 12.40 mayor a 1.5, que es requerido para diseño, por lo cual concluimos que el diseño es aceptable.

Tabla 67. Análisis de los resultados de simulación de la puerta del bastidor de lavado

Resultados de la simulación		Propiedades mecánicas (AISI 304)		Análisis de resultados
Tensión (Máximo esfuerzo – Von Mises)	<b>(16.66 MPa)</b>	<b>206 807 MPa</b>	Límite elástico	<b>El esfuerzo máximo es aceptable, porque el límite elástico es mayor.</b>
Máximo desplazamiento resultante	<b>0.006mm</b>	<b>517.107 MPa</b>	Límite a la tracción	
Máximo desplazamiento unitario	<b>0.00007</b>	<b>0.29</b>	Coefficiente de Poisson	
Mínimo factor de seguridad	<b>12.40</b>	<b>Las medidas y parámetros de diseño establecidos son adecuados, lo cual es corroborado por el factor de seguridad, que es mayor a 1.5.</b>		

#### 4.5.4 Eje y tornillo sin fin

El cuarto análisis y simulación de elementos finitos a través del software SolidWorks. El eje y tornillo sin fin de lavado está compuesto por láminas y barra de acero inoxidable seleccionadas por sus cualidades en el área de la industria alimentaria y resistentes al óxido, de acuerdo a la norma AISI 304; la lámina con un espesor de 2.5 y el eje con diámetro de 1 1/8 de pulgada, de acuerdo al diseño los puntos de sujeción y soldadura. Se definieron los puntos de apoyo y carga para el análisis de esfuerzos, desplazamientos, desplazamiento unitario y factor de seguridad del ensamble de la estructura.

Después de determinar los puntos de apoyo y carga, el análisis de elementos finitos crea una malla de estudio donde se aplicó puntos de apoyo fijo al contorno superior e inferior del bastidor y las cargas. De acuerdo al diseño son carga de peso del café fermentado de 100kgf. Los resultados obtenidos se muestran en las Figuras 69 a 72.

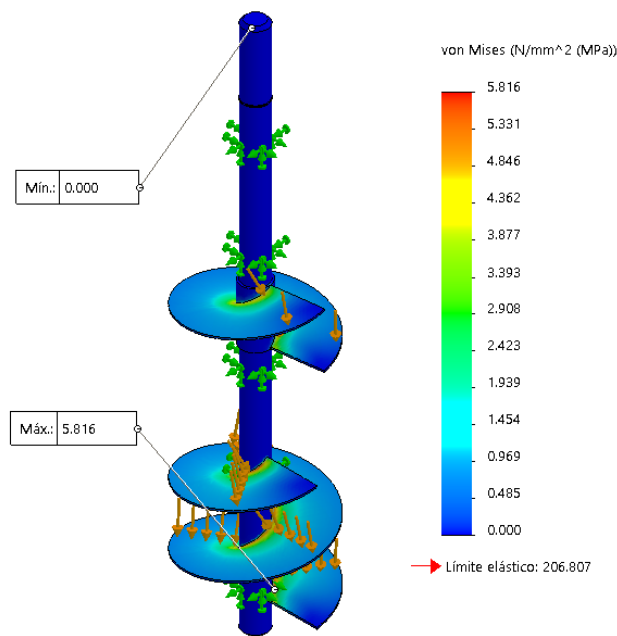


Figura 68. Diagrama de esfuerzos, tensión axial y flexión (Von Mises) del eje y tornillo sin fin

**NOTA:** El esfuerzo máximo es de 5.81 Mpa, siendo el límite elástico del material de 206.807 Mpa, por lo tanto, el esfuerzo máximo está dentro del límite elástico, el diseño es aceptable.

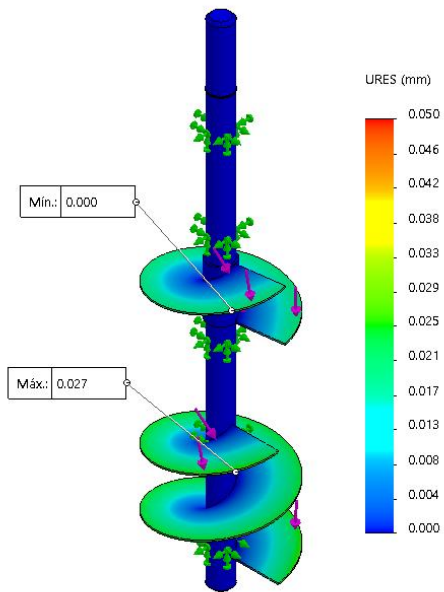


Figura 69. Diagrama del desplazamiento del eje y tornillo sin fin

**NOTA:** El desplazamiento máximo es de 0.027 mm, siendo mínimo el valor, el diseño es aceptable.

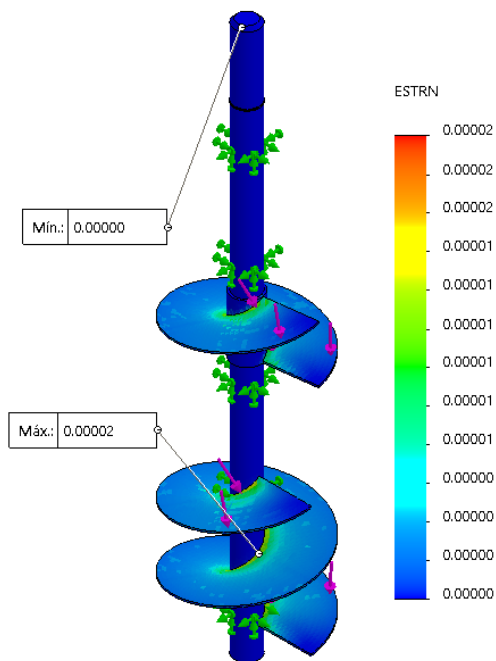


Figura 70. Diagrama de la deformación unitaria del eje y tornillo sin fin

**NOTA:** La deformación unitaria máxima es de 0.00002 por unidad de longitud, siendo mínimo el valor, por lo cual concluimos que el diseño es aceptable.

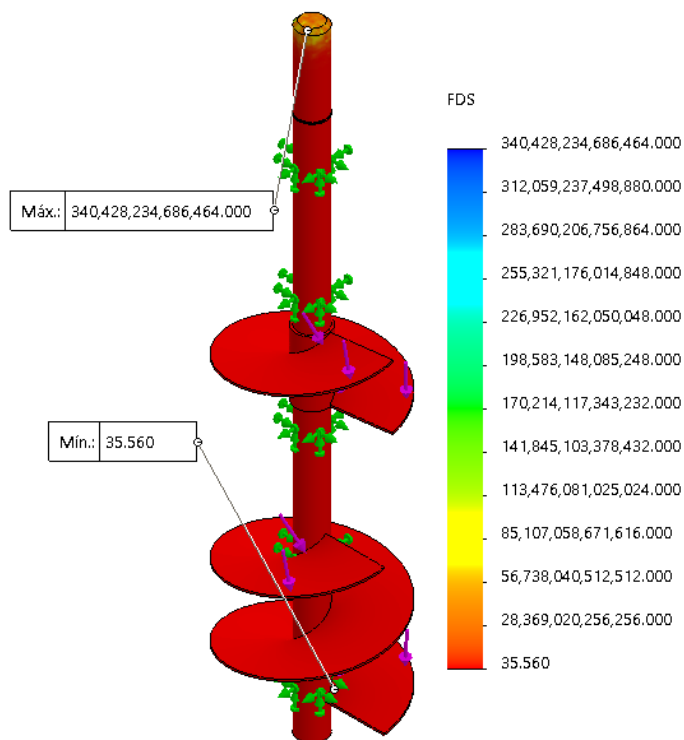


Figura 71. Diagrama de determinación del factor de seguridad del eje y tornillo sin fin

**NOTA:** El factor de seguridad mínimo es de 35.56 mayor a 1.5, que es requerido para diseño, por lo cual concluimos que el diseño es aceptable.

Tabla 68. Análisis de los resultados de simulación del eje y tornillo sin fin

Resultados de la simulación		Propiedades mecánicas (AISI 304)		Análisis de resultados
Tensión (Máximo esfuerzo – Von Mises)	<b>(5.816 MPa)</b>	<b>206 807 MPa</b>	Límite elástico	<b>El esfuerzo máximo es aceptable, porque el límite elástico es mayor.</b>
Máximo desplazamiento resultante	<b>0.027mm</b>	<b>517.107 MPa</b>	Límite a la tracción	
Máximo desplazamiento unitario	<b>0.00002</b>	<b>0.29</b>	Coefficiente de Poisson	
Mínimo factor de seguridad	<b>35.56</b>	<b>Las medidas y parámetros de diseño establecidos son adecuados, lo cual es corroborado por el factor de seguridad, que es mayor a 1.5.</b>		

#### 4.5.5 Limpiadores, mezcladores y separadores nivel 01

El quinto análisis y simulación de elementos finitos a través del software SolidWorks son los limpiadores, mezcladores y separadores del sistema de lavado que están compuestos de acero inoxidable, seleccionado por sus cualidades en el área de la industria alimentaria y resistente al óxido, de acuerdo a la norma AISI 304 y discos de Polietileno PE (tablas de picar) por su alta resistencia y bajo peso bruto. De acuerdo al diseño los puntos de sujeción y soldadura se definieron los puntos de apoyo y carga para el análisis de esfuerzos, desplazamientos, desplazamiento unitario y factor de seguridad del ensamble de la estructura.

Después de determinar los puntos de apoyo y carga, el análisis de elementos finitos crea una malla de estudio, donde se aplicó puntos de apoyo fijo en el eje y las cargas, de acuerdo al diseño, son: de resistencia al movimiento de 10 kgf por superficie de aspas. Los resultados obtenidos se muestran en las Figuras 73 a 76.

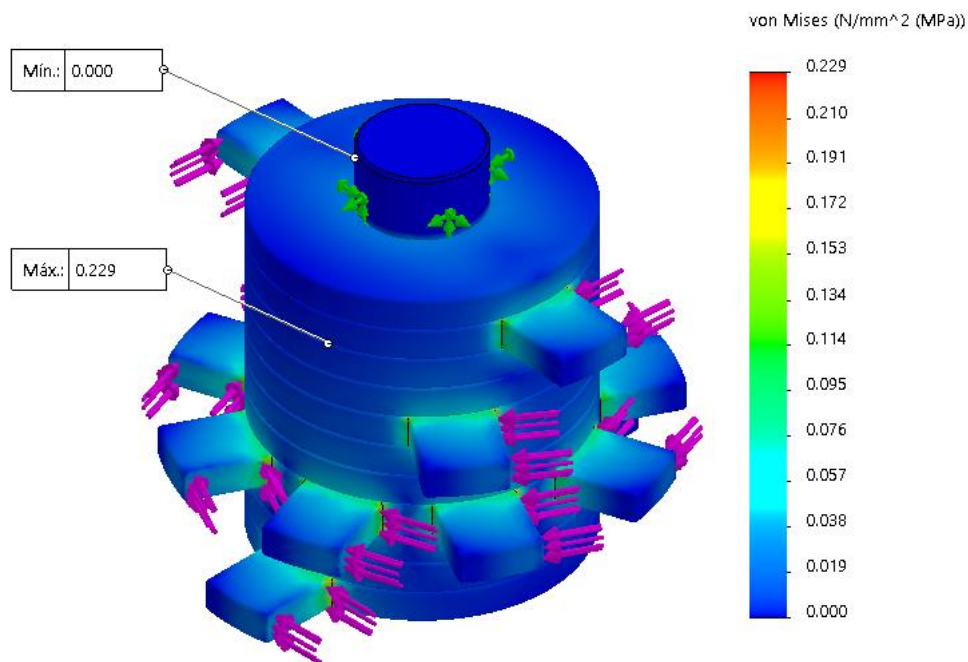


Figura 72. Diagrama de esfuerzos, tensión axial y flexión (Von Mises) del sistema de lavado nivel 01

**NOTA:** El esfuerzo máximo es de 0.229 Mpa, siendo el módulo elástico del material de 600 Mpa, por lo tanto, el esfuerzo máximo está dentro del límite elástico, el diseño es aceptable.

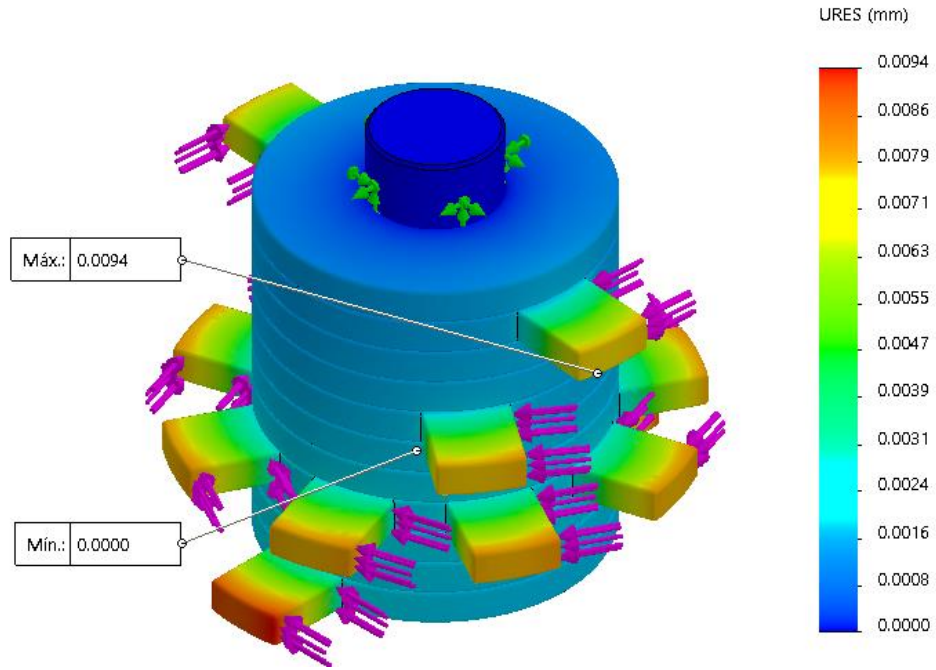


Figura 73. Diagrama del desplazamiento del sistema de lavado nivel 01

**NOTA:** El desplazamiento máximo es de 0.0094 mm, siendo mínimo el valor, el diseño es aceptable.

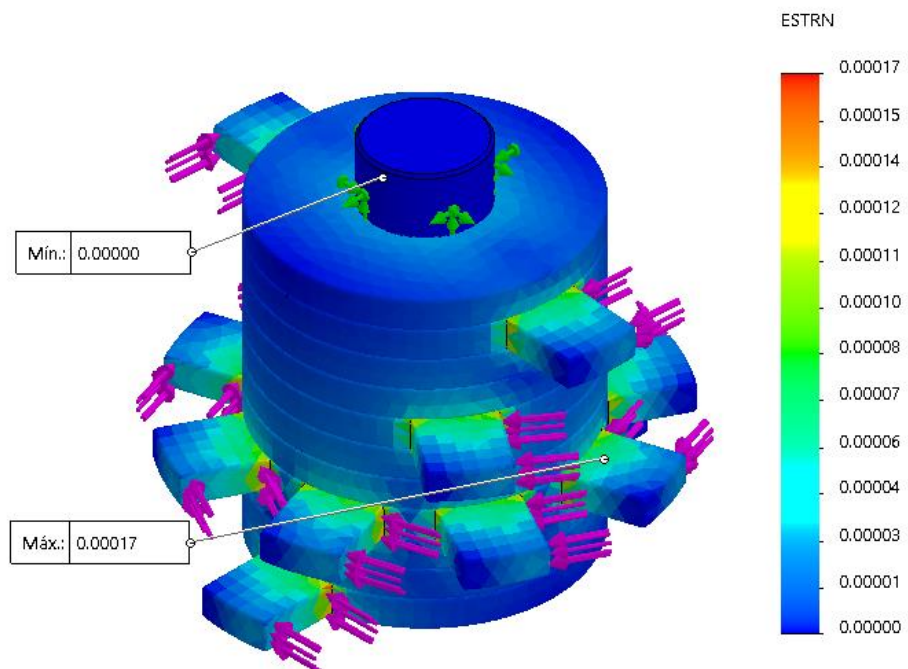


Figura 74. Diagrama de la deformación unitaria del sistema de lavado nivel 01

**NOTA:** La deformación unitaria máximas es de 0.00017 por unidad de longitud, siendo mínimo el valor, por lo cual concluimos que el diseño es aceptable.

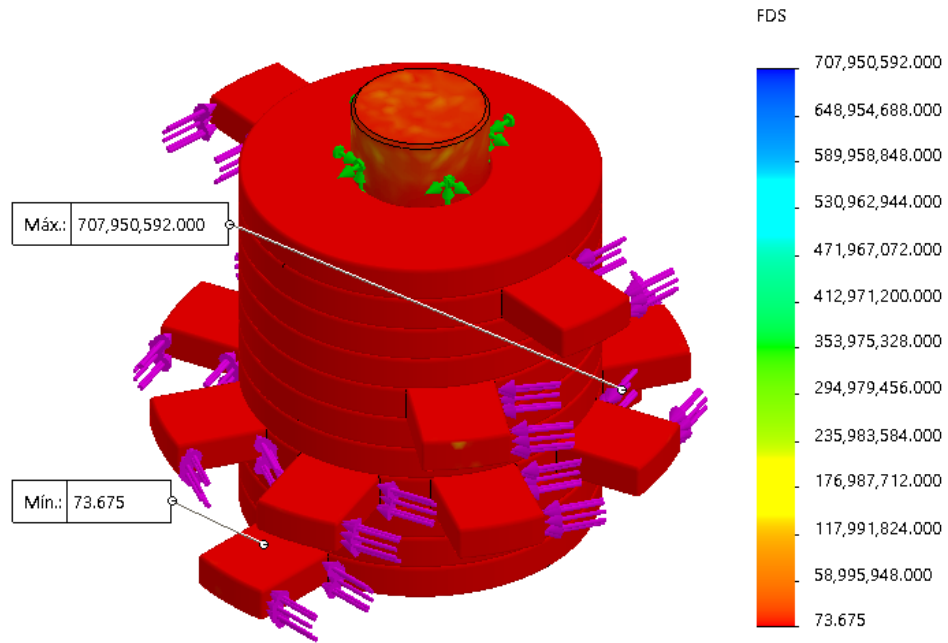


Figura 75. Diagrama determinación del factor de seguridad del sistema de lavado nivel 01

**NOTA:** El factor de seguridad mínimo es de 76.675 mayor a 1.5 que es requerido para diseño, por lo cual, concluimos que el diseño es aceptable.

Tabla 69. Análisis de los resultados de simulación del sistema de lavado nivel 01

Resultados de la simulación		Propiedades mecánicas (Polietileno PE)		Análisis de resultados
Tensión (Máximo esfuerzo – Von Mises)	<b>(0.229 MPa)</b>	<b>600 MPa</b>	Módulo elástico	<b>El esfuerzo máximo es aceptable, porque el módulo elástico es mayor.</b>
Máximo desplazamiento resultante	<b>0.0049mm</b>	<b>18 MPa</b>	Límite a la tracción	
Máximo desplazamiento unitario	<b>0.00017</b>	<b>0.3</b>	Coefficiente de Poisson	
Mínimo factor de seguridad	<b>73.675</b>	<b>Las medidas y parámetros de diseño establecidos son adecuados, lo cual es corroborado por el factor de seguridad, que es mayor a 1.5.</b>		



#### 4.5.6 Limpiadores, mezcladores y separadores nivel 02

El sexto análisis y simulación de elementos finitos a través del software SolidWorks son los limpiadores, mezcladores y separadores del sistema de lavado que está compuesto de acero inoxidable, seleccionado por sus cualidades en el área de la industria alimentaria y resistencia al óxido, de acuerdo a la norma AISI 304 y discos de Polietileno PE (tablas de picar) por su alta resistencia y bajo peso bruto. De acuerdo al diseño los puntos de sujeción y soldadura, se definieron los puntos de apoyo y carga para el análisis de esfuerzos, desplazamientos, desplazamiento unitario y factor de seguridad del ensamble de la estructura.

Después de determinar los puntos de apoyo y carga, el análisis de elementos finitos crea una malla de estudio donde se aplicó puntos de apoyo fijo en el eje y las cargas, de acuerdo al diseño, son: de resistencia al movimiento de 100 kgf por superficie de aspas y una carga por compresión de 100 kgf superior e inferior, los resultados obtenidos se muestran en las Figuras 77 a 80.

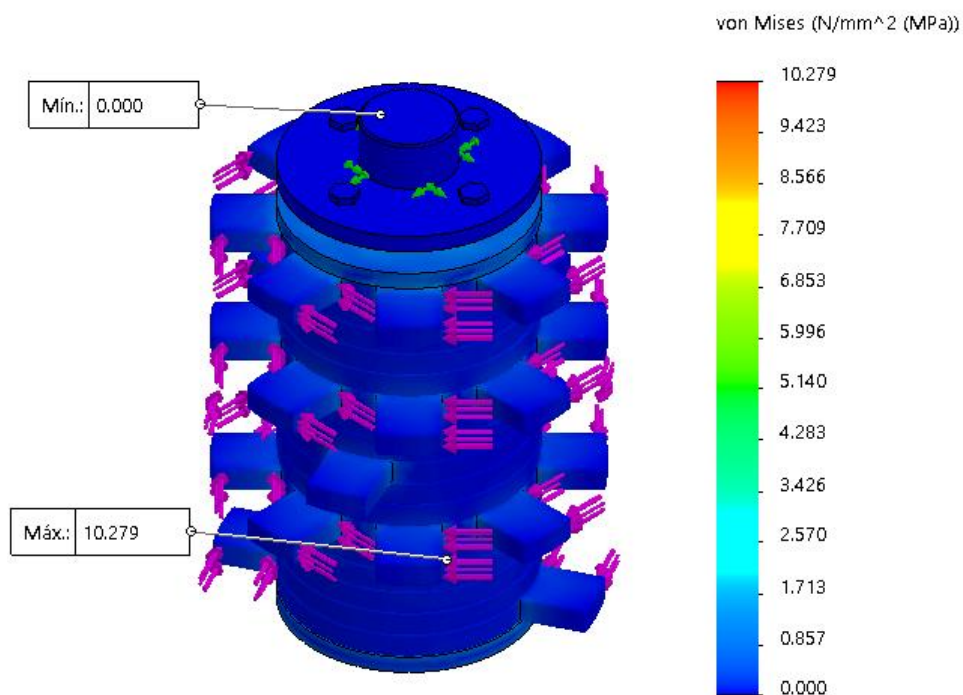


Figura 76. Diagrama de esfuerzos, tensión axial y flexión (Von Mises) del sistema de lavado nivel 02

**NOTA:** El esfuerzo máximo es de 10.279 Mpa, siendo el módulo elástico del material de 206.807 Mpa, por lo tanto, el esfuerzo máximo está dentro del límite elástico, el diseño es aceptable.

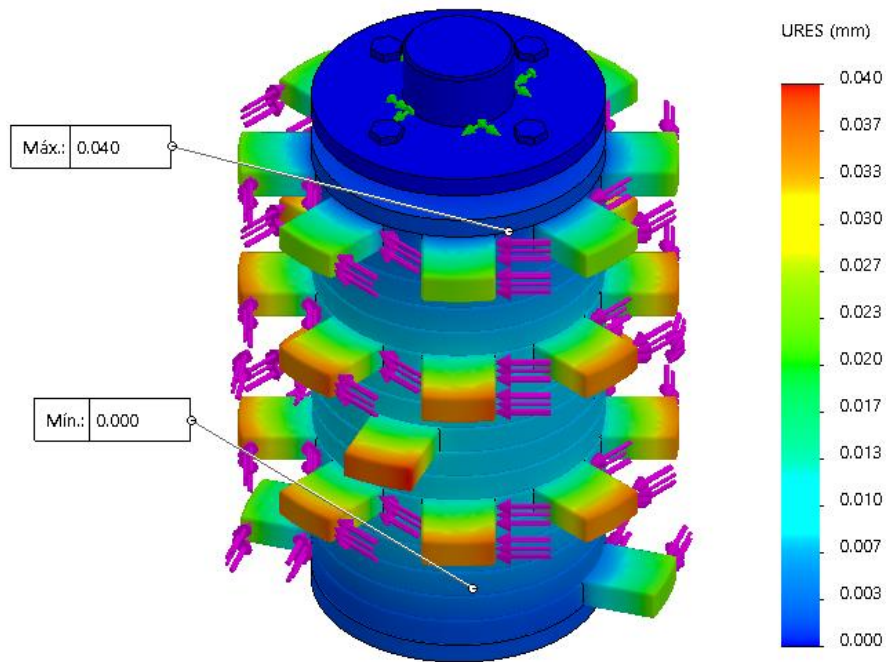


Figura 77. Diagrama del desplazamiento del sistema de lavado nivel 02

**NOTA:** El desplazamiento máximo es de 0.040 mm, siendo mínimo el valor, el diseño es aceptable.

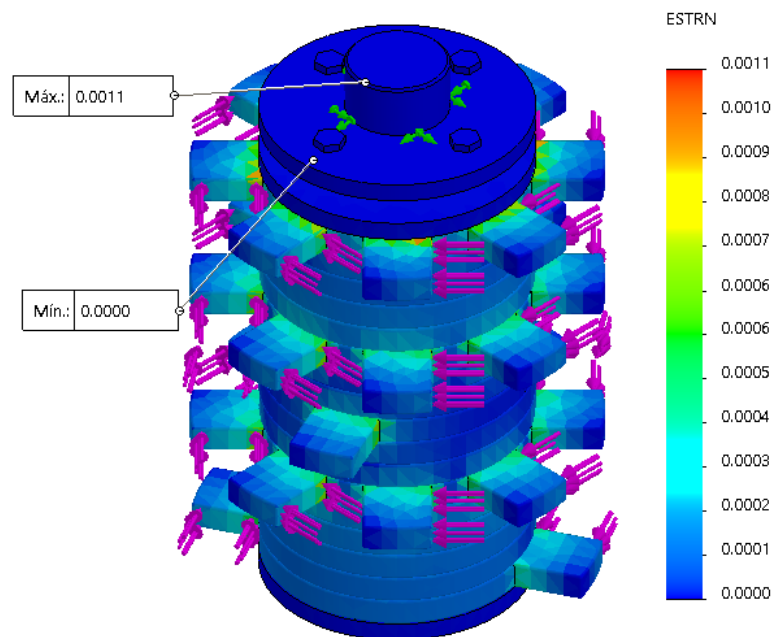


Figura 78. Diagrama de la deformación unitaria del sistema de lavado nivel 02

**NOTA:** La deformación unitaria máxima es de 0.0011 por unidad de longitud, siendo mínimo el valor, por lo cual, concluimos que el diseño es aceptable.

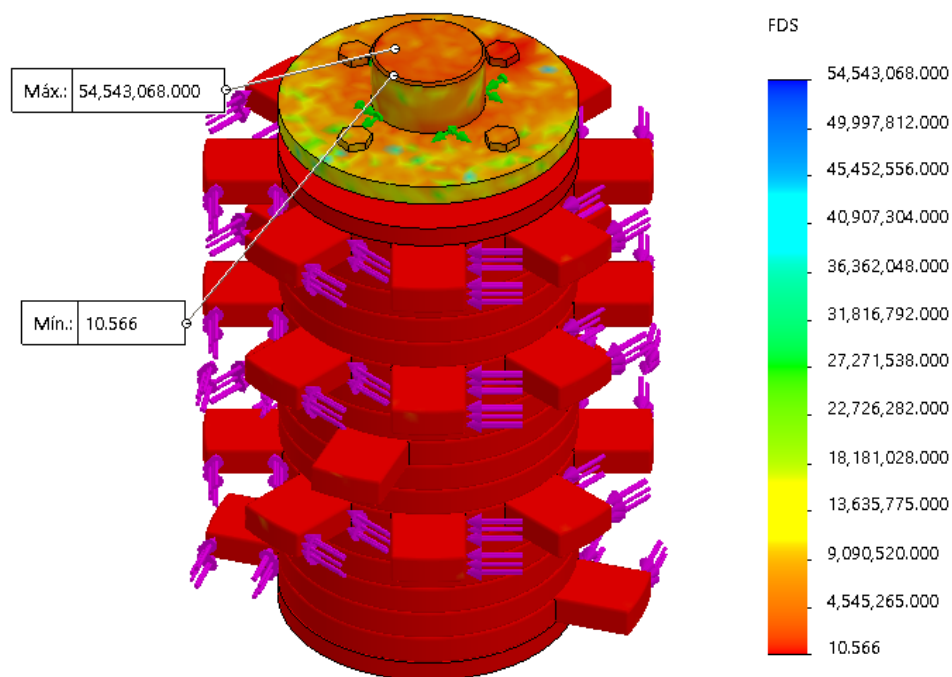


Figura 79. Diagrama de determinación del factor de seguridad del sistema de lavado nivel 02

**NOTA:** El factor de seguridad mínimo es de 10.56 mayor a 1.5, que es requerido para diseño, por lo cual, concluimos que el diseño es aceptable.

Tabla 70. Análisis de los resultados de simulación del sistema de lavado nivel 02

Resultados de la Simulación		Propiedades mecánicas (Polietileno PE)		Análisis de resultados
Tensión (Máximo esfuerzo – Von Mises)	<b>(10.27 MPa)</b>	<b>600 MPa</b>	Modulo elástico	<b>El esfuerzo máximo es aceptable, porque el módulo elástico es mayor.</b>
Máximo desplazamiento resultante	<b>0.040mm</b>	<b>18 MPa</b>	Límite a la tracción	
Máximo desplazamiento unitario	<b>0.0011</b>	<b>0.3</b>	Coefficiente de Poisson	
Mínimo factor de seguridad	<b>10.56</b>	<b>Las medidas y parámetros de diseño establecidos son adecuados, lo cual es corroborado por el factor de seguridad, que es mayor a 1.5.</b>		

#### 4.5.7 Tolva de abastecimiento o suministro

El último análisis y simulación de elementos finitos a través del software SolidWorks, la tolva de suministro para el ingreso de café fermentado al lavado está compuesta por una plancha de acero galvanizado ASTM A36 por su bajo precio y sus propiedades mecánicas. De acuerdo al diseño los puntos de sujeción y soldadura, se definieron los puntos de apoyo y carga para el análisis de esfuerzos, desplazamientos, desplazamiento unitario y factor de seguridad del ensamble de la estructura.

Después de determinar los puntos de apoyo y carga, el análisis de elementos finitos crea una malla de estudio, donde se aplicó puntos de apoyo en la unión del bastidor de lavado y las cargas, de acuerdo al diseño, son el peso del café fermentado de ingreso de 50kgf. Los resultados obtenidos se muestran en las Figuras 81 a 84.

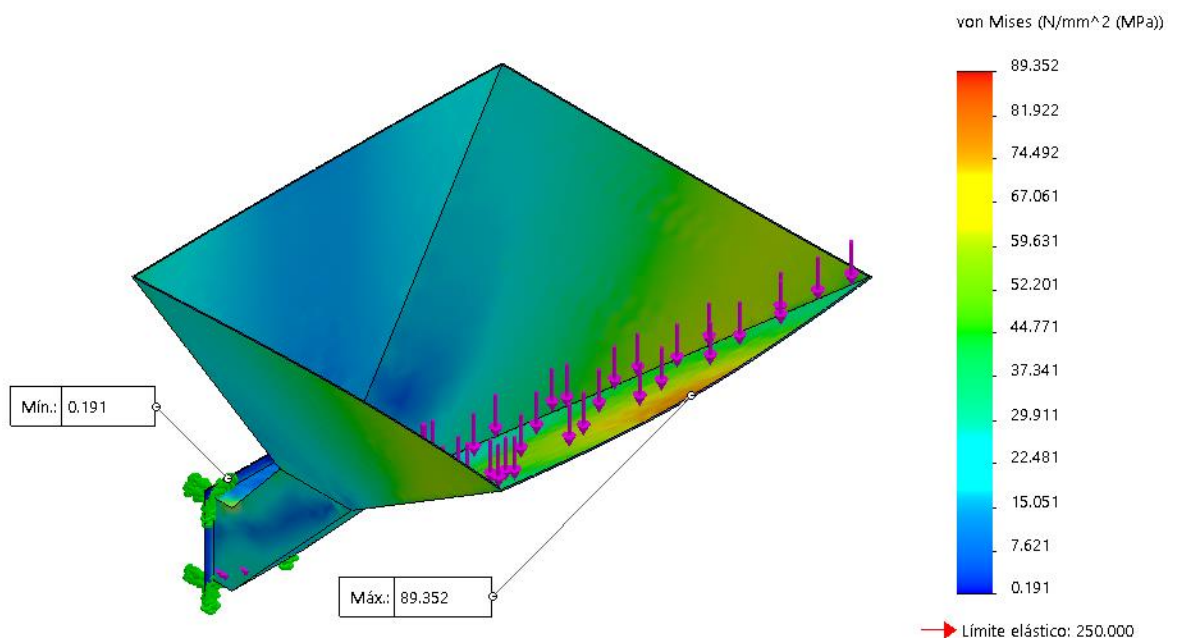


Figura 80. Diagrama de esfuerzos, tensión axial y flexión (Von Mises) de la tolva de suministro

**NOTA:** El esfuerzo máximo es de 89.35 Mpa, siendo el límite elástico del material de 250 Mpa, por lo tanto, el esfuerzo máximo está dentro del límite elástico, el diseño es aceptable.

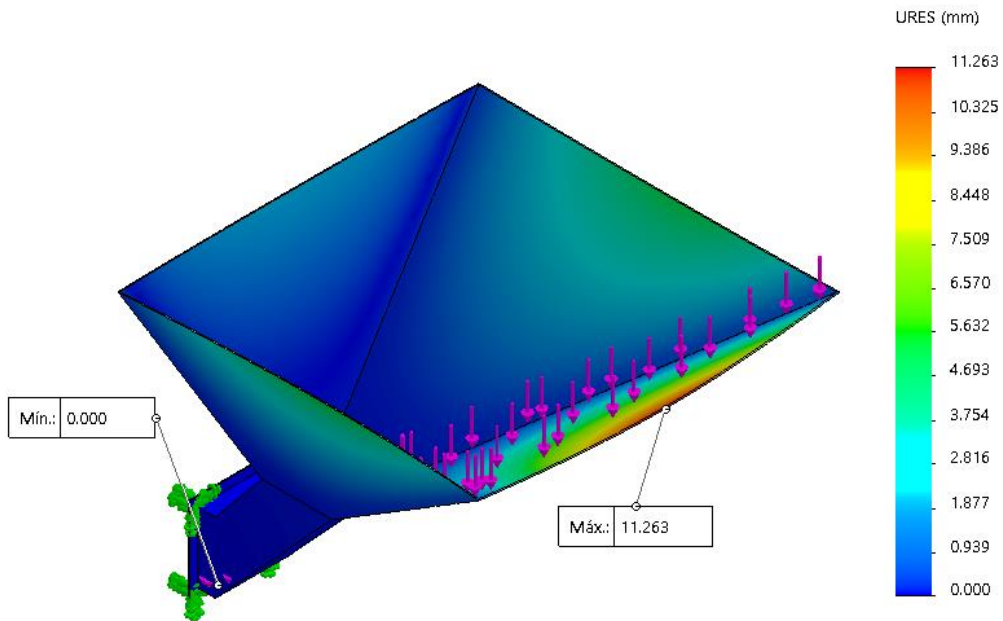


Figura 81. Diagrama del desplazamiento de la tolva de suministro

**NOTA:** El desplazamiento máximo es de 11.26 mm, siendo mínimo el valor, el diseño es aceptable.

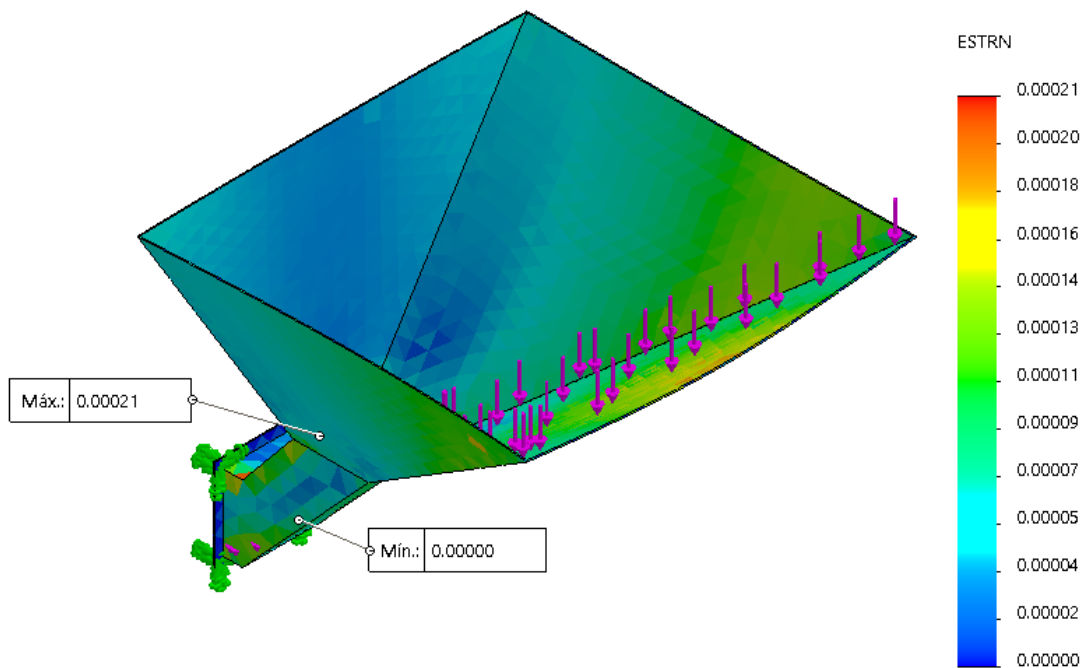


Figura 82. Diagrama de la deformación unitaria de la tolva de suministro

**NOTA:** La deformación unitaria máxima es de 0.00021 por unidad de longitud, siendo mínimo el valor, por lo cual concluimos que el diseño es aceptable.

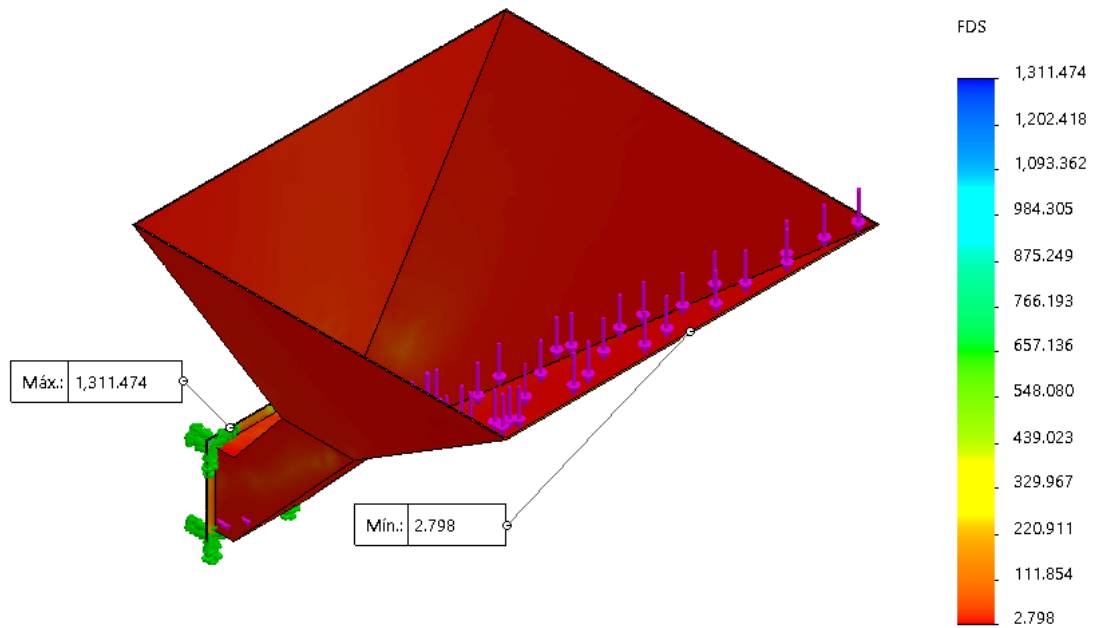


Figura 83. Diagrama de determinación del factor de seguridad de la tolva de suministro

**NOTA:** El factor de seguridad mínimo es de 2.79 mayor a 1.5, que es requerido para diseño, por lo cual, concluimos que el diseño es aceptable.

Tabla 71. Análisis de los resultados de simulación de la tolva

Resultados de la Simulación		Propiedades mecánicas (ASTM A36)		Análisis de resultados
Tensión (Máximo esfuerzo – Von Mises)	<b>(98.35 MPa)</b>	<b>250 000 MPa</b>	Límite elástico	<b>El esfuerzo máximo es aceptable, porque el límite elástico es mayor.</b>
Máximo desplazamiento resultante	<b>11.263mm</b>	<b>365.90 MPa</b>	Límite a la tracción	
Máximo desplazamiento unitario	<b>0.00021</b>	<b>0.29</b>	Coefficiente de Poisson	
Mínimo factor de seguridad	<b>2.79</b>	<b>Las medidas y parámetros de diseño establecidos son adecuados, lo cual es corroborado por el factor de seguridad, que es mayor a 1.5.</b>		

#### 4.6 Modelado la lavadora de café

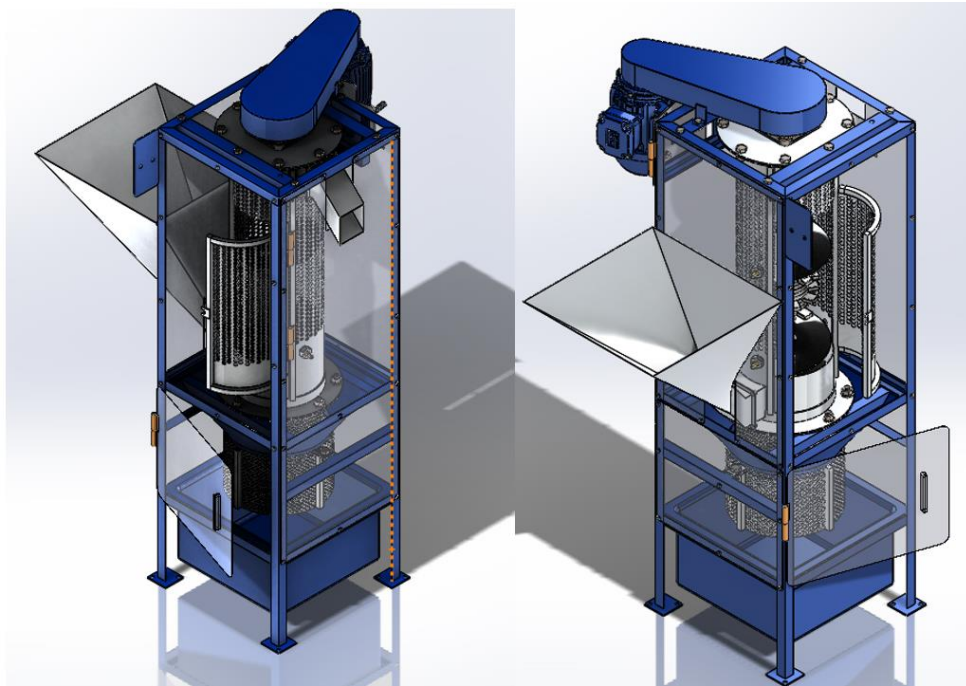


Figura 84. Sistema vertical de lavado de café fermentado con recirculación de agua

#### 4.7 Análisis de resultados obtenidos de forma analítica y los obtenidos mediante simulación

Tabla 72. Análisis de resultados de forma analítica y simulación para el eje de lavado

Resultado Analítico		Resultado de la simulación SolidWorks	
Factor de seguridad mediante análisis estático	<b>2.46</b>	Factor de seguridad mediante simulación de esfuerzos SolidWorks	<b>35.56</b>
Análisis de resultados del eje de lavado		<p>En el diseño analítico, se obtuvo diámetros de 19.1 y 25.6, por motivos de utilizar un elemento más comercial se seleccionó el de 28.57 o 1 1/8. En vista de que los factores de seguridad, tanto analítico como en la simulación, superan el 1.5, podemos concluir que el factor de seguridad del eje seleccionado es superior al requerido, haciendo de este diseño aceptable.</p>	

## CAPITULO V

### CONSTRUCCIÓN

#### 5.1 Construcción

Aquí se desarrollará la cuarta fase de la metodología para el diseño y fabricación del sistema vertical de lavado de café fermentado con recirculación de agua para los productores del anexo Señor de los Milagros – Satipo – Junín, que es «Construcción».

#### 5.2 Planos de detalles

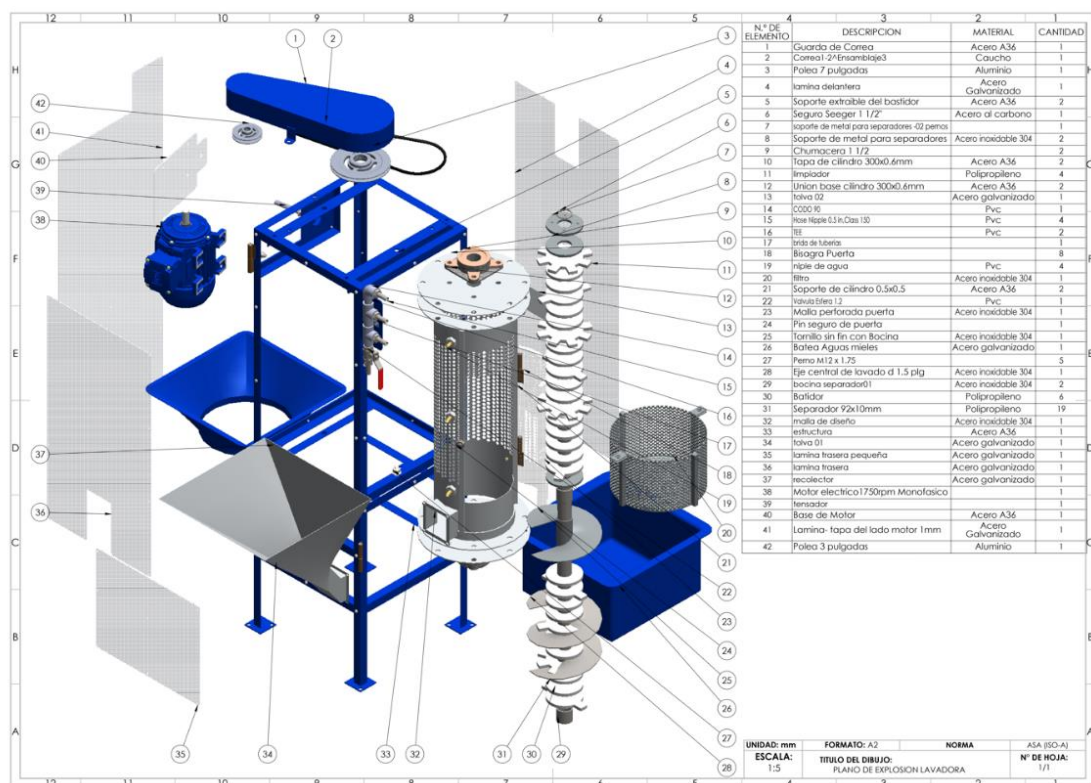


Figura 85. Plano explosión - sistema de lavado vertical de café



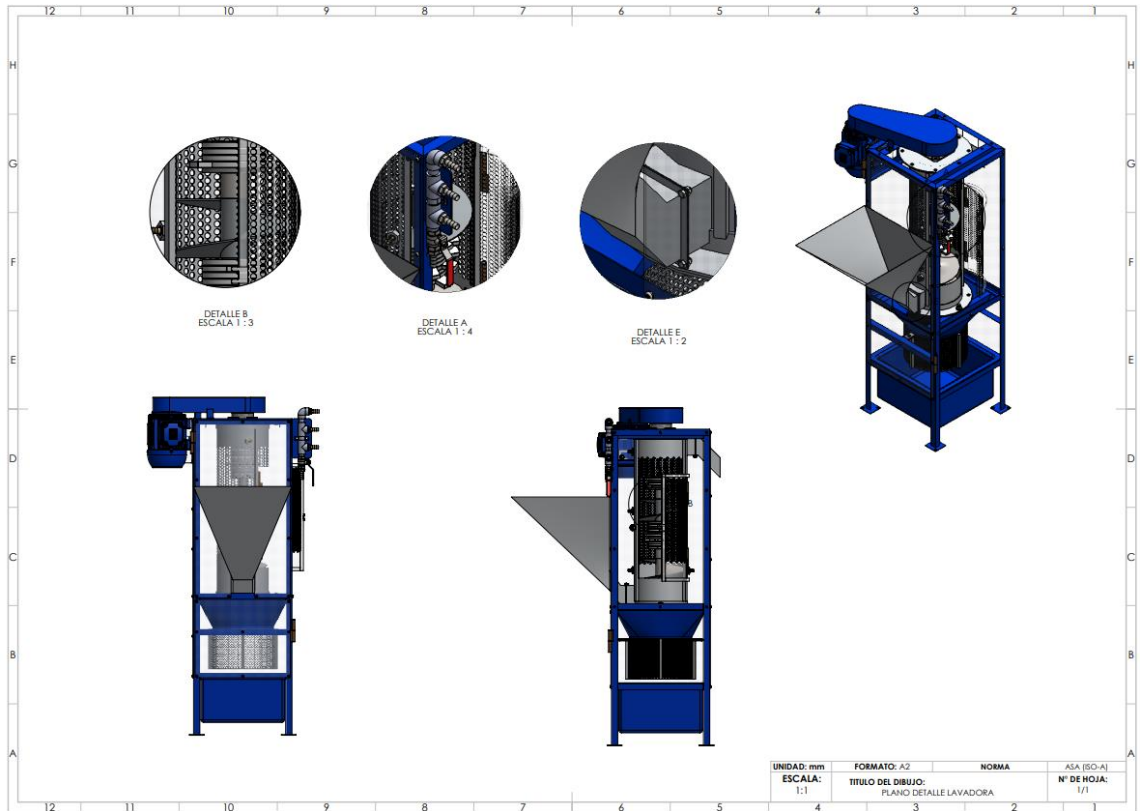


Figura 86. Plano detalle-sistema de lavado vertical de café

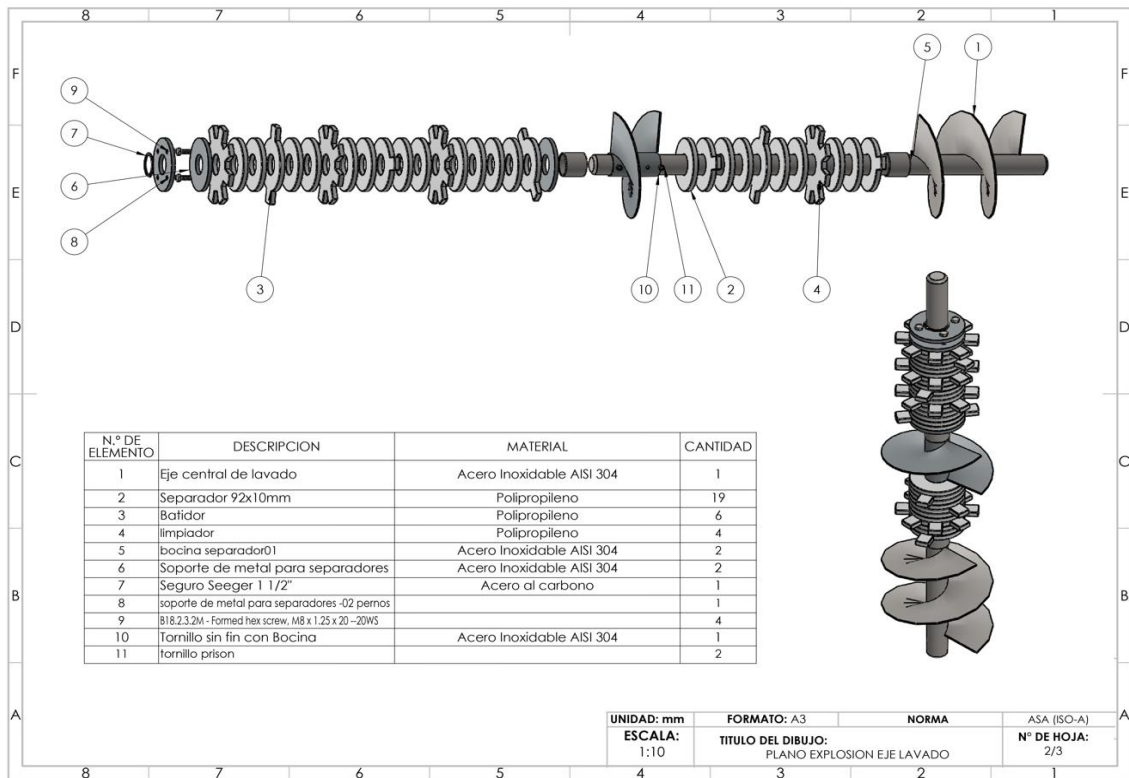


Figura 87. Eje del sistema vertical de lavado de café

## 5.2.1 Proceso de construcción de la máquina

### Compra y almacenamiento de materiales:

Los materiales para la fabricación del sistema de lavado de café fueron seleccionados y almacenados en el taller que se encargará de dar soporte y apoyo en la fabricación. Para el inicio de esta etapa se procedió a entregar los planos y diseños para que puedan servir de guía a lo largo del proyecto, como se muestra en la Figura 89.



*Figura 88.* Compra y almacenamiento de materiales

Trazado de medidas y corte de materiales para la estructura base. Siguiendo los planos que se entregaron a los técnicos se realizó la medición correspondiente y corte de los materiales, utilizando herramientas especiales.

### Soldado y ensamble de la estructura:

Al tener la estructura apuntalada por puntos de soldadura, se procedió al soldado permanente de la estructura base con ángulos ASTM A36, como se muestra en la Figura 90.



*Figura 89.* Soldado y ensamble de la estructura

### **Trazado de medidas y corte de materiales del cilindro de lavado:**

Se procedió a la toma de medidas y corte de las piezas del cilindro de lavado; al ser estas de un material de acero inoxidable, se tuvo que tener mucho más cuidado de no dañar el material, ya que su costo es alto, como se muestra en la Figura 91.



*Figura 90.* Trazado de medidas y corte de materiales del cilindro de lavado

### **Soldado y ensamble del cilindro de lavado:**

Utilizando soldadura con electrodos para acero inoxidable, se procedió a soldar y ensamblar la camisa de acero inoxidable AISI 304, como se muestra en la Figura 92.



*Figura 91.* Soldado y ensamble del cilindro de lavado

### **Torneado y fresado del eje de lavado y platos de cilindros:**

Se realizó el maquinado correspondiente del eje de barra redonda de acero inoxidable AISI 304. Se tuvo mucha precaución, debido a que es una de las piezas más importantes del sistema de lavado de café. También en esta etapa se maquinaron los limpiadores de fibra de Nylon y los álaves del tornillo sin fin, como se muestra en la Figura 93.



*Figura 92.* Torneado y fresado del eje de lavado y platos de cilindros

### **Ensamblaje del eje de lavado con sus componentes:**

Con la ayuda de unos seguros Seeger, se ensamblaron los diferentes componentes que constituyen el eje de lavado, con un sistema de regulación de presión con pernos y separadores de acero inoxidable, como se muestra en la Figura 94.



*Figura 93.* Ensamblaje del eje de lavado con sus componentes

### **Ensamblaje del cilindro de lavado con la estructura base:**

Se fabricó una estructura sólida, la cual pueda resistir el peso de la canastilla de lavado y el peso del café, este cilindro de lavado puede ser desmontable para su mantenimiento y traslado.



*Figura 94.* Ensamblaje del cilindro de lavado con la estructura base

### **Corte y soldado de las tolvas:**

La unión de piezas metálicas se dio a través de la soldadura, se utilizó electrodo E6011 1/8 cellocord, como puede observar en la Figura 96.



*Figura 95.* Corte y soldado de las tolvas

### **Ensamblaje del sistema de ingreso y salida del café:**

Las tolvas de ingreso y salida de materia prima fueron fabricadas en acero galvanizado, debido a ser un material alternativo al acero inoxidable y de menor costo, como se observa en la figura 97.



*Figura 96.* Ensamblaje del sistema de ingreso y salida del café

### **Ensamblaje del sistema de potencia en la estructura:**

Cuenta con un soporte y un templador, el cual nos ayuda a tensar las fajas de distribución mediante un perno y una tuerca. Fue fabricado en acero A36. En la Figura 98 podemos observar el sistema de potencia ensamblado.



*Figura 97.* Ensamblaje del sistema de potencia en la estructura

### **Ensamblaje del filtro y la bandeja para las aguas mieles:**

Respecto al filtro, al estar en contacto directo con el agua y el mucilago, se seleccionó el material de acero inoxidable AISI 304, para evitar la oxidación del material, como se muestra en la Figura 99.



*Figura 98.* Ensamblaje del filtro y la bandeja para las aguas mieles

### **Ensamblaje de los componentes restantes de la máquina:**

Las chapas se fabricaron en acero galvanizado para poder resistir el contacto con el agua y mucilago, también para que al finalizar su jornada puedan ser lavadas y desarmadas sin ningún problema, en la Figura 100 se puede observar el ensamblaje.



*Figura 99.* Ensamblaje de los componentes restantes de la máquina

### **Pintado y acabados:**

Una vez finalizada la fabricación y armado de los principales componentes, se procedió a pintar y dar el acabado a la máquina, en color azul marino y gris. En la Figura 101 podemos apreciar la máquina en proceso de acabado.



*Figura 100.* Pintado y acabados

### **Pruebas en vacío con maíz:**

Antes de someter la máquina a pruebas con el café y para no dañar estos granos, se enfrentó a la máquina a pruebas con maíz de granos similares a los granos de café, como se puede observar en la Figura 102.



*Figura 101.* Pruebas en vacío con maíz



### Instalación de la máquina lavadora de café:

Como podemos observar en la Figura 103, así se vería la máquina lavadora de café lista para funcionar en campo.



Figura 102. Instalación de la máquina lavadora de café

### 5.2.2 Cuadro y diagrama de proceso de construcción

Tabla 73. Cuadro del proceso de construcción

<b>A-1</b>	Compra y almacenamiento de materiales mecánicos, electrónicos y materia prima.
<b>P-1</b>	Efectuar el trazado de medidas, según el diseño en los materiales para su respectivo maquinado.
<b>P-2</b>	Corte de la materia prima para la estructura.
<b>I-1</b>	Verificación de medidas finales en piezas para la estructura principal.
<b>P-3</b>	Soldado y ensamble de la estructura.
<b>I-2</b>	Verificación de medidas del cilindro de lavado.
<b>P-4</b>	Rolado y perforación de agujeros del bastidor de lavado.
<b>P-5</b>	Efectuar el trazado de medidas, según el diseño en la materia prima para la estructura, cilindro de lavado, separadores y limpiadores del eje de lavado.
<b>P-6</b>	Corte de la materia prima para el sistema del lavador (limpiadores, mezcladores y separadores).
<b>P-7</b>	Perforación de orificios para asentar los soportes de corte.

<b>E-1</b>	Ensamblado de la estructura a través de pernos.
<b>I-3</b>	Verificación de las medidas y disposiciones del eje del lavador.
<b>P-8</b>	Tornear, fresar el eje de lavado.
<b>I-4</b>	Verificación de medidas finales en piezas.
<b>E-2</b>	Ensamblaje del eje de lavado con sus componentes, limpiadores y tornillo sin fin.
<b>E-3</b>	Ensamblaje del cilindro de lavado (eje ensamblado, limpiadores, tornillo sin fin, estructura, rodamientos y chumacera).
<b>P-9</b>	Pruebas de funcionamiento del sistema.
<b>E-4</b>	Ensamblaje del sistema de potencia (fajas, poleas y motor).
<b>P-10</b>	Efectuar el trazado de medidas, según el diseño en la materia prima para el sistema de ingreso y salida del café.
<b>P-11</b>	Corte y soldado de las tolvas de ingreso y salida del café.
<b>P-12</b>	Perforar los orificios de sujeción de las tolvas.
<b>I-5</b>	Verificación de medidas finales en piezas.
<b>E-5</b>	Ensamblaje del sistema de ingreso y salida de café.
<b>P-13</b>	Pruebas de funcionamiento del sistema.
<b>P-14</b>	Efectuar el trazado de medidas, según el diseño en la materia prima para el sistema de filtrado.
<b>P-15</b>	Corte y perforaciones de la materia prima para el sistema de filtrado.
<b>P-16</b>	Rolado, plegado y soldado del filtro, recolector y reservorio del agua filtrada.
<b>I-6</b>	Verificación de medidas finales en piezas.
<b>E-6</b>	Ensamblaje del sistema de filtrado.
<b>P-17</b>	Pruebas de funcionamiento del sistema.
<b>E-7</b>	Ensamblaje de todos los subsistemas.
<b>P-18</b>	Instalación de un tablero de control global.
<b>P-19</b>	Pruebas de funcionamiento de todo el sistema antes de los acabados.
<b>P-20</b>	Empernado de las tapas en la estructura.
<b>P-21</b>	Colocación de jebes para evitar el ruido y filtración de agua.
<b>P-22</b>	Pulida y acabado superficial (pintado -señales - advertencias).
<b>P-23</b>	Pruebas de funcionamiento de todos los sistemas integrados.
<b>P-24</b>	Pruebas en vacío con maíz o productos alternativos.
<b>P-25</b>	Instalación de la máquina lavadora de café.
<b>T-1</b>	Fin de Proceso de Construcción.

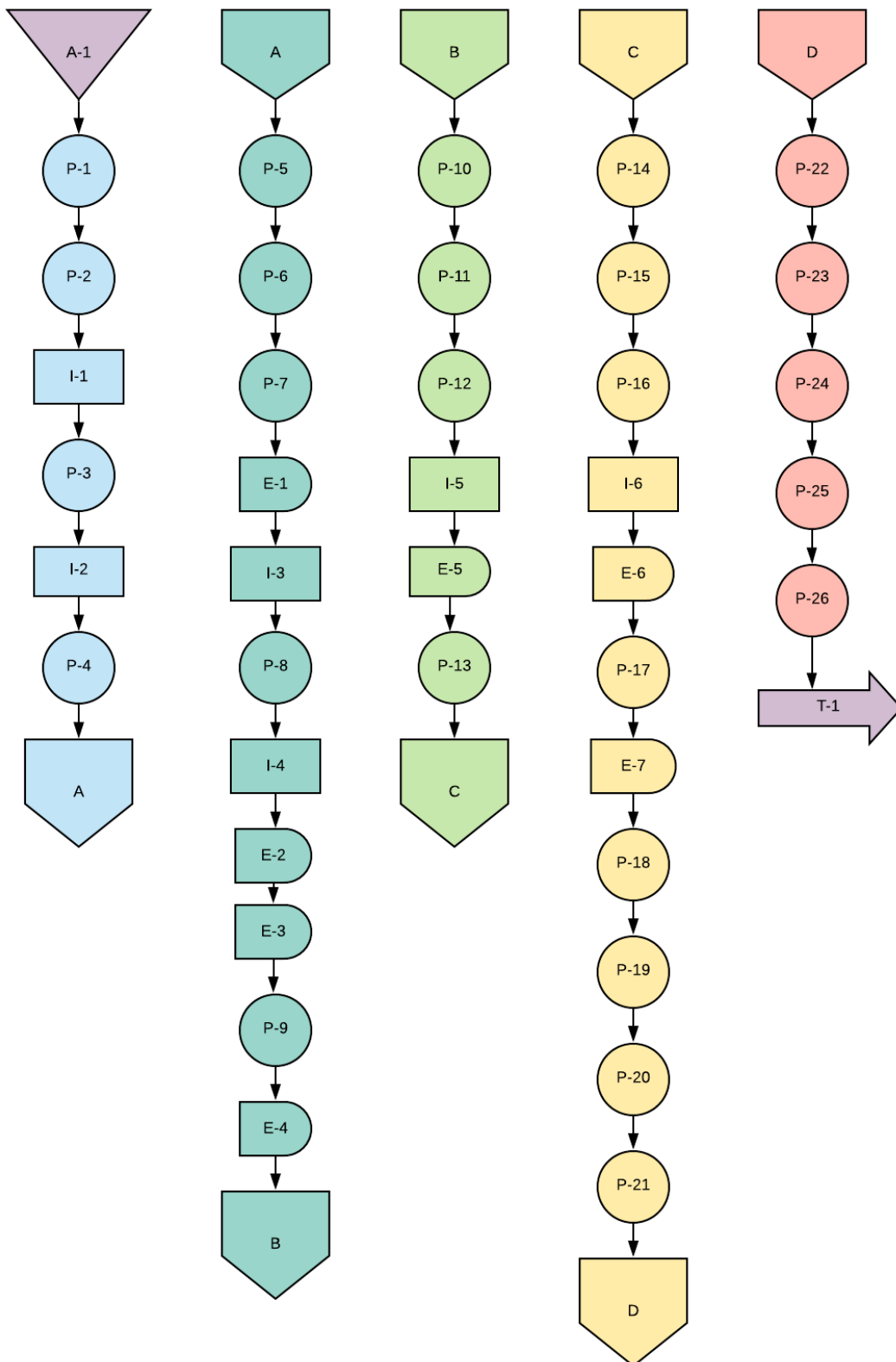


Figura 103. Diagrama del proceso de construcción

### 5.3 Costos

#### 5.3.1 Costos directos

Los costos directos son los que intervienen principalmente en la fabricación de la máquina que vienen a ser el costo de materiales, de mano de obra, de herramientas, de máquina a usar durante el proceso de construcción. A continuación, se detallará cada uno de los aspectos en las Tablas 74, 75 y 76.

#### 5.3.2 Materiales y equipos

Tabla 74. Costo materiales y equipo

Id	Descripción	Material	Cant.	Precio unit (S/)	Precio parcial
1	Estructura <ul style="list-style-type: none"> <li>• Estructura base</li> <li>• Tapas de estructura</li> <li>• Guarda de faja</li> </ul>	Ángulo A36 L30 x 30 x 3mm	2	55	110
		Plancha laminada 1.2mx2.4mx1mm	1	200	200
		Plancha laminada 1.2mx2.4mx2mm	1	200	200
2	Cilindro de lavado <ul style="list-style-type: none"> <li>• Canastilla de lavado</li> <li>• Base de canastilla</li> <li>• Eje de lavado</li> <li>• Tronillo sin fin</li> <li>• Limpiadores de</li> <li>• Bocinas separadoras</li> </ul>	Plancha acero inoxidable AISI 304 1.22mx2.44mx1.2mm	1	300	300
		Plancha acero ASTM 6mmx50cmx50cm	1	100	100
		Barra redonda AISI 304 30mmx1m	1	100	100
		Plancha AISI 304 2.7mmx1mx1m	1	100	100
		Polietileno PE (Tablas de picar)	10	20	200
		Barra hueca AISI 304 2mmx50cm	1	20	20
3	Sistema transmisión de potencia y movimiento	Aluminio fundido	1	70	70

	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Polea de 7"</li> <li>• Polea de 12"</li> <li>• Faja</li> <li>• Chumacera de pared</li> </ul>	Aluminio fundido	1	120	120
		Faja de transmisión en V	1	40	40
		Rodamiento de bolas de 1"1/8	2	80	160
4	Sistema de agua y recirculación	Uniones de bronce	5	5	25
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Llave de paso 1/2"</li> <li>• Mangueras de nivel</li> <li>• Accesorios de conexión</li> <li>• Bomba de agua</li> <li>• Bandeja de agua</li> <li>• Filtro de aguas mieles</li> </ul>	PVC llave de paso	3	1	3
		Codo 1/2 PVC	1	3	3
		Unión 1/2 PVC	1	3	3
		Teflón	1	1	1
		T 1/2 PVC	2	3	6
		Bomba de pesera de 60w	1	60	60
		Plancha acero A36 1mx1mx1mm	1	50	50
		Plancha acero inoxidable 304 1mx1mxx1.2mm	1	80	80
5	Sistema eléctrico	Motor 2HP monofásico	1	800	800
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Motor eléctrico</li> <li>• Tablero de control</li> </ul>	Caja PVC 30x30cm	1	50	50
		Contactador de 12 A	1	80	80
		Relay	1	50	50
		Cuchilla térmica	1	40	40
		Pulsadores	3	10	30
		Cable eléctrico x metro	3	2	6
6	Accesorios para montaje y ensamblado	Pernos	40	1	40

	Arandelas	40	0.5	20
	Tuercas	40	0.5	20
	Electrodo E6011	15	1.5	22.5
	Electrodo INOX	10	4	40
<b>TOTAL</b>				s/3143.50

### 5.3.3 Mano de obra y diseño

Tabla 75. Costos de mano de obra y diseño

id	Descripción	PROCESO	Costo (S/)
1	Maquinado	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Corte</li> <li>• Torneado</li> <li>• Fresado</li> <li>• Rectificado de las piezas</li> </ul>	300
2	Ensamble	Soldado y armado de los componentes de la máquina	200
3	Acabado	Pulido y pintado de la máquina	100
4	Instalación eléctrica	Instalación de tablero de mando y arranque de motor	100
5	Diseño CAD	Modelado y simulación en 3d del sistema y elaboración de planos 2d	200
<b>TOTAL</b>			s/900

Tabla 76. *Total de costos directos*

id	Descripción	Costo total
1	Costo de materiales	3143.50
2	Costo de mano de obra y diseño	900
TOTAL		s/4043.5

### 5.3.4 Costos indirectos

Los costos indirectos son todos aquellos que no intervienen de forma directa en la fabricación de la máquina, estos comprenden gastos generales como: gastos administrativos, supervisión, reuniones, transporte, útiles y otros que se especifican en la Tabla 77.

Tabla 77. *Total de costos indirectos*

id	Descripción	Costo total
1	Papelería y útiles de escritorio	100
2	Transporte de la máquina	300
3	Pasajes	200
4	Bibliografías	100
5	Internet	80
6	Impresiones y grabaciones	100
TOTAL		s/880

### 5.3.5 Costo total

Tabla 78. *Total de la de inversión*

id	Descripción	Costo total
1	Costo directo	4043.5
2	Costo indirecto	880
TOTAL		s/4923.5

## 5.4 Pruebas y resultados

Las primeras pruebas se realizaron con maíz, debido a su similar geometría y bajo costo para realizar pruebas, para así observar el desarrollo de máquina. Como se observa en la Figura 105, las pruebas con maíz fueron exitosas, teniendo un desarrollo bueno de la máquina, obteniendo los siguientes resultados:

- Después de la prueba, se obtuvo un maíz limpio de sus impurezas como: cascarillas, pajillas y residuos del maíz apolillado, como se muestra en la Figura 105.
- Se puede apreciar también que durante el procesado no se dañó los granos de maíz a pesar de no usar agua en la prueba.



*Figura 104.* Pruebas realizadas con maíz

Después de hacer las pruebas con el maíz se realizaron las pruebas con café fermentado:

- Se realizó la instalación de la máquina para pruebas, luego se seleccionó el café fermentado para lavar, como se muestra en la Figura 106.
- La variedad de café que se trabajó fue la Arábica, también estuvieron presentes las subvariedades de caturra, pache, típica y catimor, cabe resaltar que la máquina puede funcionar con cualquier variedad de café.





*Figura 105. Café fermentado*

Se realizó el cronometrado de tiempo de lavado de café desde su abastecimiento de la tolva de ingreso de café hasta el llenado del balde con el café ya lavado, se obtuvieron los siguientes resultados:

- El café se lava correctamente sin tener daño alguno en grano.
- El tiempo de lavado de café para 24 kg es de 2 min en promedio, como se muestra en las figuras 107 y 108. Teniendo en cuenta estos datos de la prueba, se afirma que el sistema de lavado vertical de café fermentado tiene una capacidad de lavado de 720kg/h.

Cálculos:

$$24 \text{ kg} \text{ --- } 2 \text{ min}$$

$$12 \text{ kg} \text{ --- } 1 \text{ min}$$

$$x \text{ --- } 60 \text{ min}$$

$$x = 12 * 60$$

Resolviendo la ecuación:

$$x = 720 \text{ kg/h}$$



*Figura 106.* Inicio de la prueba de lavado de café fermentado – valde vacío.



*Figura 107.* Lavado de café fermentado – llenado de valde

- También se calculó el consumo de agua para el proceso de lavado de café, mediante la medición del tiempo de llenado de una jarra de un litro de agua, por los 3 tubos de suministro de agua a la canastilla de lavado, como se muestra en la Figura 109.
- El consumo de agua resultante fue de 0.67 lt por kilogramo de café lavado (0.67lt/kg).



Figura 108. Cálculo del consumo de agua

Calculamos:

$$\begin{aligned}
 & \therefore 720kg - -60 min \\
 & \Rightarrow (1lt - -7.5 seg) * 8 \rightarrow 8lt - -60seg /1min \\
 & (8lt - -60seg /1 min) * 60 \rightarrow 480lt - -60 min/hr \\
 & \Rightarrow (720kg - -60min - - 480lt)/720 \\
 & 1kg - - - - 0.67 lt \\
 & x = 0.67lt/kg
 \end{aligned}$$

- Después del lavado se pueden apreciar los residuos de cascara del café fermentado extraídos por el sistema de lavado y el filtrado de la misma, como se muestra en las Figuras 110 y 111.



*Figura 109.* Máquina llena de cáscara, después del lavado de café.



*Figura 110.* Filtro de la maquina lleno de cascara de café filtradas



*Figura 111.* Granos de café lavados



*Figura 112.* Tendido del café lavado 01



*Figura 113.* Tendido del café lavado 02



*Figura 114.* Foto equipo de trabajo



*Figura 115.* Finca «El cafetal», donde se realizaron las pruebas 01.



*Figura 116.* Finca «El cafetal», donde se realizaron las pruebas 02.

## CONCLUSIONES

- Se diseñó y desarrolló un sistema vertical de lavado de café fermentado con recirculación de agua, con una capacidad de 720 Kg/h (kilogramo de café lavado por hora) y un consumo de agua de 0.67Lt/Kg (litros de agua por kilogramo de café lavado) para los productores del anexo Señor de los Milagros – Satipo – Junín.
- Se evaluó el sistema de lavado artesanal de café a través de las visitas y encuestas realizadas a los pobladores del anexo Señor de los Milagros – Satipo – Junín, concluyendo que el procesado de lavado de café es muy tedioso, se necesita más de dos personas y estar en contacto con el agua por 2 a 3 horas, perjudicando así la salud y bienestar y contaminando las fuentes de agua cercanas.
- Se diseñó un sistema para lavado vertical de café, conformado por un ángulo estructural, un cilindro de lavado compuesto por: la camisa o bastidor, el eje, el tornillo sin fin, limpiadores, separadores y batidores y con un factor de seguridad superior a 5. El sistema de filtrado se realizó a través de una canastilla con huecos que filtra la cáscara del café fermentado y finalmente se reutiliza del agua filtrada.
- Se fabricó el prototipo del sistema de lavado vertical de café, cuya estructura está conformada por un ángulo estructural ASTM A36 y unidos a través de soldadura; el cilindro de lavado compuesto por la camisa, el eje, el tornillo sin fin, se encuentran fabricados en acero inoxidable AISI 304. Los limpiadores, separadores y batidores están fabricados en polietileno, debido a que es más ligero que el acero y proporciona menos daño mecánico a los granos de café al momento del lavado.
- Se validó el funcionamiento del sistema vertical de lavado de café fermentado con recirculación de agua, a través de las pruebas realizadas en el anexo Señor de los Milagros – Satipo – Junín, concluyendo que el sistema de lavado reduce considerablemente los tiempos de lavado, debido a que cumplió con los parámetros esperados de «720kg de café en una hora de lavado». Así mismo, podemos resaltar que los limpiadores fabricados en polietileno, al ser más ligeros que el acero, con una densidad de 0.9 gr/cm<sup>3</sup> para el polietileno y de 8 gr/cm<sup>3</sup> para el acero inoxidable AISI 304, proporcionan menor daño mecánico a los granos de café al momento del lavado y a su vez pueden lavar granos que no han podido ser despulpados o granos malogrados (cachaza).



## **TRABAJOS FUTUROS**

- Se recomienda, para trabajos futuros, poder optar por materiales opcionales para reducir el costo de la fabricación de la máquina.
- Se recomienda trabajar un prototipo a escala menor para productores de café con menor producción anual.
- Se recomienda continuar analizando el diseño del filtro de aguas mieles, con la finalidad de que la bomba de agua haga el menor esfuerzo posible al momento de recircular el agua miel, debido a que contiene impurezas del mucilago del café.

## BIBLIOGRAFÍA

1. DIARIO OFICIAL EL PERUANO. Café nuestro de cada día [En línea]. 2016. [Fecha de consulta: 15 de agosto de 2022]. Disponible en: <https://elperuano.pe/noticia/41523-cafe-nuestro-de-cada-dia>
2. INSTITUTO Nacional de Estadística e Informática. Informe técnico - Perú: Panorama Económico Departamental, 2019. Vol. 8, n.º 2, p. 28.
3. PARICAHUA, M. Cambio climático y desarrollo sostenible. *Revista Latinoamericana Ogmios*, 2021. Vol. 1, n.º 1, p. 82–90. DOI 10.53595/rlo.2021.1.008.
4. HOJARASCA CAFÉ ARTESANAL [En línea]. [Fecha de consulta: 15 de agosto de 2022]. Disponible en: <https://www.hojarascacafeartesanal.com/wp/>
5. ZAMBRANO-FRANCO, D. e ISAZA-HINESTROZA, J. Lavado del café en los tanques de fermentación. *CENICAFE*. 1994, Vol. 45, n.º 3, pp. 106–118.
6. MATUK-VELASCO V., PUERTA-QUINTERO G. y RODRÍGUEZ-VALENCIA N. Impacto biológico de los efluentes del beneficio húmedo del café. *CENICAFÉ* [En línea], 1997. Vol. 48, n.º 4, pp. 234–252. Disponible en: [http://biblioteca.cenicafe.org/bitstream/10778/67/1/arc048\(04\)234-252.pdf](http://biblioteca.cenicafe.org/bitstream/10778/67/1/arc048(04)234-252.pdf)
7. GUANÍN, C. Diseño de una máquina desmucilagadora de cacao. Tesis (Título de Ingeniero Mecánico) Quevedo - Los ríos: Universidad Técnica Estatal De Quevedo, 2017, 140 pp. Disponible en: <https://repositorio.uteq.edu.ec/bitstream/43000/3774/1/T-UTEQ-0037.pdf>
8. AVALOS, J. Diseño de prototipo de máquina para el lavado de granos de sorgo (MLS-2019. Versión 1.0) utilizado para producir harina en la industria alimentaria (Trabajo de fin de Grado) Santa Clara: Universidad Central Marta Abreu de las Villas, 2019. Disponible en: <https://dspace.uclv.edu.cu/bitstream/handle/123456789/11985/AvalosAbrahantes%2C%20Joel.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
9. CASTRO, C. y CHAGUAMATE, J. Diseño y simulación de un prototipo de máquina desmulgranadora de café. Tesis (Título de Ingeniero Mecánico). Quito: Escuela Politécnica Nacional, 2015, 242 pp. Disponible en: [file:///C:/Users/PC/Downloads/CD-6189 \(2\).pdf](file:///C:/Users/PC/Downloads/CD-6189%20(2).pdf)
10. CHAVARRIA, R. y PISCOYA, J. Diseño de una máquina desmucilagadora automatizada para café con capacidad de 500 kg/h. Tesis (Título de Ingeniero Mecánico Electricista) Pimentel: Unoversidad Señor de Sipán, 2018, 218 pp. Disponible en: [file:///C:/Users/PC/Downloads/ChavarriaCastrejon & Piscoya Canton \(2\).pdf](file:///C:/Users/PC/Downloads/ChavarriaCastrejon%20y%20PiscoyaCanton%20(2).pdf)Tesis
11. CALLUPE, Luis M. Optimización de los parámetros geométricos de una lavadora de quinua, usando el método de PIV. Tesis (Título Profesional de Ingeniero Mecánico) Lima: Universidad de Ingeniería y Tecnología, 2017, 88 pp. Disponible en: [https://repositorio.utec.edu.pe/bitstream/20.500.12815/91/1/Callupe\\_Luis.pdf](https://repositorio.utec.edu.pe/bitstream/20.500.12815/91/1/Callupe_Luis.pdf)
12. BARRETO, S. y CUSTODIO, I. Diseño de una máquina automatizada, para el lavado de zanahoria, en el centro poblado menor de Callanca, distrito de Monsefú, departamento de Lambayeque. Tesis (Título Profesional de Ingeniero Mecánico Electricista). Pimentel: Universidad Señor de Sipán, 2018, 235 pp. Disponible en: <https://repositorio.uss.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12802/4869/Barreto%20Castillo%20-%20Custodio%20Agapito.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
13. MINISTERIO de Desarrollo Agrario y Riego. Observatorio de Commodities - Café, [En línea], 2020, p. 1–31. Disponible en: <https://cdn.www.gob.pe>

14. MINISTERIO de Desarrollo Agrario y Riego. El Café Peruano. [En línea], 2015. [Fecha de consulta: 18 de agosto de 2022]. Disponible en: <https://www.midagri.gob.pe/portal/485-feria-scaa/10775-el-cafe-peruano>
15. ROJAS, N. Por primera vez en casi 100 años cafetaleros venderán cara a cara a importadores – AgroNegociosPerú [En línea]. 2017. [Fecha de consulta: 18 de agosto de 2022]. Disponible en: <https://agronegociosperu.org/2017/05/04/por-primera-vez-en-casi-100-anos-cafetaleros-venderan-cara-a-cara-a-importadores/>
16. CARVAJAL J., ARISTIZABAL I. y OLIVEROS C. Evaluación de propiedades físicas y mecánicas del fruto de café (*coffea arabica* l. var. Colombia) durante su desarrollo y maduración. *Dyna* [En línea], 2012. Vol. 79, n.º 173, pp. 116–124. Disponible en: <http://www.scielo.org.co/pdf/dyna/v79n173/a14v79n173.pdf>
17. MONTILLA-PÉREZ J., ARCILA-PULGARCIN J., ARISTIZÁBAL-LOAIZA M., MONTOYA-RESTREPO E. C, PUERTA-QUINTERO G., OLIVEROS-TASCÓN C. y CADENA-GÓMEZ G. Caracterización de algunas propiedades físicas y factores de conversión del café durante el proceso de beneficio húmedo tradicional. *Cenicafé*. [En línea], 2008. Vol. 59, n.º 2, pp. 120–142. Disponible en: [http://www.cenicafe.org/es/publications/arc059\(02\)120-142.pdf](http://www.cenicafe.org/es/publications/arc059(02)120-142.pdf)
18. OLIVEROS-TASCÓN, C. y ROA-MEJIA, G. Coeficiente de fricción, ángulo de reposo y densidades aparentes de granos de café *Coffea arabica* variedad Caturra. *Cenicafé*. [En línea], 1985. Vol. 36, n.º 1, p. 22–38. Disponible en: <https://biblioteca.cenicafe.org/bitstream/10778/1050/1/arc036%2801%2922-38.pdf>
19. FIMAR.CO. Lavadores. [En línea] [Fecha de consulta: 18 de agosto de 2022]. Disponible en: <http://www.fimar.co/lavadores.html>
20. MINISTERIO de Agricultura y Riego. Catálogo de maquinaria para procesamiento de café. [En línea], 2015, pp. 1–54. Disponible en: [https://energypedia.info/images/0/02/Catálogo\\_Lacteos.pdf](https://energypedia.info/images/0/02/Catálogo_Lacteos.pdf)
21. MOLINA, A. ¿Qué es el café lavado y por qué es tan popular? - Perfect Daily Grind Español. Trad. por María José Parra. [En línea], 2018. [Fecha de consulta: 18 de agosto de 2022]. Disponible en: <https://perfectdailygrind.com/es/2018/12/24/proceso-101-que-es-el-cafe-lavado-y-por-que-es-tan-popular/>
22. GARAVITO-ROZO, A. y PUERTA-QUINTERO, G. Utilización del mucílago de café en la alimentación de cerdos. *Avances Técnicos Cenicafé*. 1998, Vol. 49 n.º 3, pp. 1–12.
23. PRIMERO CAFÉ. Diferencias entre café pergamino y café verde [En línea]. [Fecha de consulta: 18 de agosto de 2022]. Disponible en: <https://primerocafe.com.mx/caficultura/diferencias-cafe-pergamino-cafe-verde/>
24. SALAZAR, J. Estimación del volumen de las aguas residuales vertidos a la cuenca del río Entaz por principales plantas de beneficio húmedo de café de los distritos de Villa Rica y San Luis de Shuaro en el año 2012. Informe de Prácticas. Universidad Nacional Agraria de la Selva.
25. BUDYNAS, R. y NISBETT, K. *Diseño en ingeniería mecánica de Shigley*. 8.ª ed. México D. F.: Mc Graw Hill, 2008. ISBN 9780874216561.
26. NSK. Tipos y características de los rodamientos [En línea], 2012, pp. 565. Disponible en: <https://sicoris-sa.com/pdf/catalogos/nsk-rodamientos-catalogo-general-catalogo.pdf>
27. GALBARRO, H. Transportadores de Tornillo Sin Fin. *ingemecanica* [En línea], 2018 [Fecha de consulta: 23 de agosto de 2022]. Disponible en:

<https://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn143.html>

28. BADOO, N. Manual de diseño para acero inoxidable estructural. 4.<sup>a</sup> ed. [En línea], 2017. Steel Construccion Institute. Disponible en: <http://www.steel-stainless.org/media/1462/dmsss-4th-ed-spanish.pdf>
29. ACEROS BÖHLER. *Aceros especiales: Catálogo de aceros para herramientas*. [En línea], 2017. Disponible en: <https://glosarios.servidor-alicante.com/acero/aceros-especiales>
30. BLANCO, E. Metodología para el diseño de máquinas adaptadas a comunidades en desarrollo. Plan de investigación (Doctorado en Sostenibilidad). Barcelona: Universitat Politècnica de Catalunya, 2015, pp. 53. Disponible en: [file:///C:/Users/HP/Downloads/PR Blanco Romero, Elena \(1\).pdf](file:///C:/Users/HP/Downloads/PR%20Blanco%20Romero,%20Elena%20(1).pdf)
31. ESPINOZA, C. *Metodología de investigación tecnológica* [En línea], 2014. Huancayo: Imagen Gráfica. ISBN 9786120016671. Disponible en: <http://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/UNCP/1146/mit1.pdf?sequence=1&isAllowed=y%0Ahttp://repositorio.uncp.edu.pe/handle/UNCP/1148>
32. CEGARRA, J. *Metodología de la investigación científica y tecnológica* [En línea], 2004. Madrid: Ediciones Díaz de Santos. ISBN 9788499690278. Disponible en: <https://www.editdiazdesantos.com/libros/cegarra-sanchez-jose-metodologia-de-la-investigacion-cientifica-y-tecnologica-L03006241201.html>
33. PINTO, M. Metodología de Diseño Christopher Jones. *Slideshare* [En línea], 2017. [Fecha de consulta: 26 de agosto de 2022]. Disponible en: <https://es.slideshare.net/mariapinto55/metodologia-christopher-jones>
34. AYALA, J. Diseño de una transportadora de harina para el traslado de molido en la Empresa Agroindustrial Vásquez S. A. C. Tesis (Título Profesionalde Ingeniero Mecánico). Huancayo: Universidad Nacional del Centro del Perú, 2019, 123 pp.
35. SKF. *Selección de Rodamientos* [En línea], 2020. Disponible en: [https://cdn.skfmediahub.skf.com/api/public/0901d19680416953/pdf\\_preview\\_medium/0901d19680416953\\_pdf\\_preview\\_medium.pdf](https://cdn.skfmediahub.skf.com/api/public/0901d19680416953/pdf_preview_medium/0901d19680416953_pdf_preview_medium.pdf)
36. GRUPO SKF. Rodamientos Y y unidades de rodamientos Y SKF energéticamente eficientes [En línea], agosto 2015, p. 44. Disponible en: <https://aldobenito.com.ar/assets/pdf/unidad-soporte.pdf>
37. SKF. Power Transmission belts Contents. *Catálogo SKF Rodamientos*, 2016

## **ANEXOS**

### **ÍNDICE DE ANEXOS:**

Anexo 01. Ficha técnica de rodamientos SKF

Anexo 02. Ficha técnica De bandas de transmisión SKF

Anexo 03. Ficha técnica de ángulos de acero ASTM A36

Anexo 04. Ficha técnica de acero inoxidable AISI 304

Anexo 05. Ficha técnica de planchas y bobinas de acero inoxidable AISI 304

Anexo 06. Ficha técnica de motor eléctrico monofásico

Anexo 07. F4B 102 – FM

Anexo 08. Ficha técnica de bomba Boyu

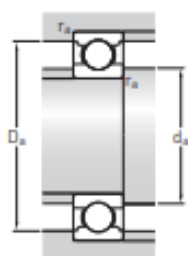
Anexo 09. Ficha técnica manguera transparente TRUPER

Anexo 10. Diagrama de potencia de tablero de control

Anexo 11. Encuesta para los pobladores del anexo Señor de los Milagros – Satipo

Anexo 12. Planos

## Anexo 01. Ficha técnica de rodamientos SKF



Dimensiones						Dimensiones de resaltes y radios de acuerdo				Factores de cálculo		
d	d <sub>1</sub>	d <sub>2</sub>	D <sub>1</sub>	D <sub>2</sub>	r <sub>1,2</sub>	d <sub>a</sub> min.	d <sub>a</sub> máx.	D <sub>a</sub> máx.	r <sub>a</sub> máx.	k <sub>r</sub>	f <sub>0</sub>	
mm						mm				-		
20	-	22,6	-	29,6	0,3	22	22,5	30,5	0,3	0,02	13	
	-	22,6	-	29,6	0,3	22	22,5	30,5	0,3	0,02	13	
	-	23,6	-	33,5	0,3	22	23,5	35	0,3	0,025	15	
	-	23,6	-	33,5	0,3	22	-	35	0,3	0,025	15	
	27,6	-	-	38,8	0,6	24	27,5	39,5	0,6	0,03	14	
	27,6	-	-	38,8	0,6	24	27,5	39,5	0,6	0,03	14	
	27,6	-	-	38,8	0,6	24	-	39,5	0,6	0,03	14	
	29,5	-	-	41	1	25	29	42	1	0,03	13	
	29,5	-	-	41	1	25	29	42	1	0,03	13	
	29,5	-	-	41	1	25	-	42	1	0,03	13	
	30	-	-	45,4	1,1	26,5	29,5	46	1	0,035	12	
	30	-	-	45,4	1,1	26,5	29,5	46	1	0,035	12	
	30	-	-	45,4	1,1	26,5	-	46	1	0,035	12	
	25	28,2	-	-	34,2	0,3	27	28	35	0,3	0,02	14
		28,2	-	-	34,2	0,3	27	28	35	0,3	0,02	14
30,9		-	-	39,5	0,3	27	30,5	40,5	0,3	0,025	15	
31,7		-	-	42,8	0,6	29	31,5	44,5	0,6	0,03	15	
31,7		-	-	42,8	0,6	29	31,5	44,5	0,6	0,03	15	
31,7		-	-	42,8	0,6	29	-	44,5	0,6	0,03	15	
34		-	-	45,8	1	30	33,5	47	1	0,03	14	
34		-	-	45,8	1	30	33,5	47	1	0,03	14	
34		-	-	45,8	1	30	-	47	1	0,03	14	
38,1		-	-	53,3	1,1	31,5	38	55	1	0,035	13	
38,1		-	-	53,3	1,1	31,5	38	55	1	0,035	13	
38,1		-	-	53,3	1,1	31,5	-	55	1	0,035	13	
30		33,1	-	-	39,2	0,3	32	33	40	0,3	0,02	14
		35,1	-	-	44,1	0,3	32	35	45	0,3	0,025	16
		35,1	-	-	44,1	0,3	32	-	45	0,3	0,025	16
	38	-	-	50	1	35	37,5	50	1	0,03	15	
	38	-	-	50	1	35	37,5	50	1	0,03	15	
	38	-	-	50	1	35	-	50	1	0,03	15	
	40,7	-	-	55,2	1	35	40,5	57	1	0,03	14	
	40,7	-	-	55,2	1	35	40,5	57	1	0,03	14	
	40,7	-	-	55,2	1	35	-	57	1	0,03	14	

## Anexo 02. Ficha técnica de bandas de transmisión SKF

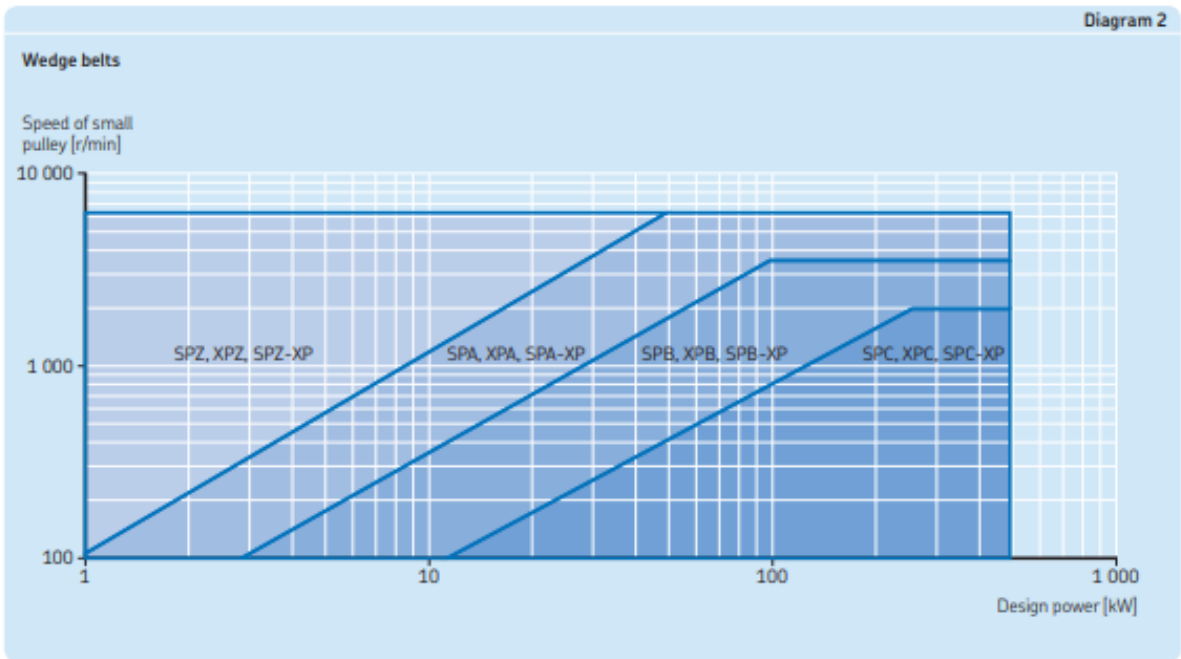
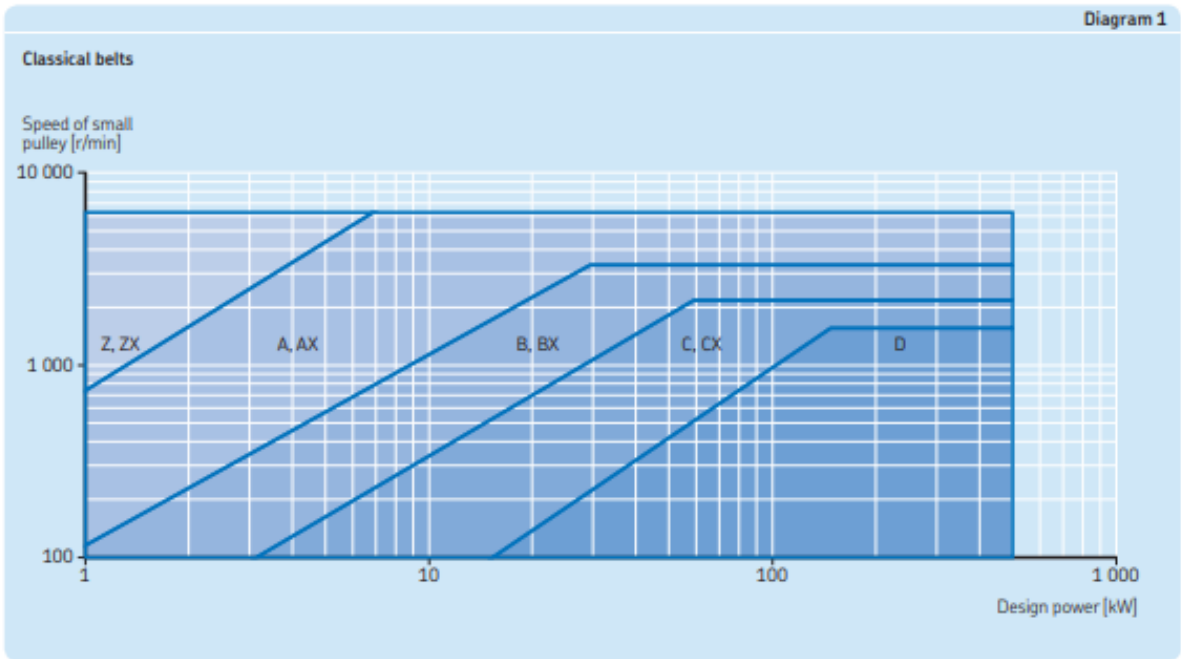
### Service factors

Table 1		Table 2	
<b>Speed increase ratio</b>		<b>Types of prime mover</b>	
For speed increasing drives of		<b>Soft starts</b> Electric motors:	<b>Heavy starts</b> Electric motors:
Speed ratio 1,00–1,24 multiply service factor by 1,00		AC – Star delta start	AC – Direct-on-line start
Speed ratio 1,25–1,74 multiply service factor by 1,05		DC – Shunt wound	DC – Series and compound wound
Speed ratio 1,75–2,49 multiply service factor by 1,11		Internal combustion engines with 4 or more cylinders	Internal combustion engines with less than 4 cylinders.
Speed ratio 2,50–3,49 multiply service factor by 1,18		Prime movers fitted with centrifugal clutches, dry or fluid couplings or electronic soft start devices	Prime movers not fitted with soft start devices
Speed ratio 3,50 and over multiply service factor by 1,25			

Table 3		Soft starts			Heavy starts		
Types of driven machinery		Duty time h/day			Duty time h/day		
		10 and under	Over 10 to 16	Over 16	10 and under	Over 10 to 16	Over 16
Class 1 Light duty	Blowers, exhausters and fans (up to 7,5 kW), centrifugal compressors and pumps. Belt conveyors (uniformly loaded).	1,0	1,1	1,2	1,1	1,2	1,3
Class 2 Medium duty	Agitators (uniform density), blowers, exhausters and fans (over 7,5 kW). Rotary compressors and pumps (other than centrifugal). Belt conveyors (not uniformly loaded), generators and exciters, laundry machinery, lineshafts, machine tools, printing machinery, sawmill and woodworking machinery, screens (rotary).	1,1	1,2	1,3	1,2	1,3	1,4
Class 3 Heavy duty	Agitators and mixers (variable density), brick machinery, bucket elevators, compressors and pumps (reciprocating), conveyors (heavy duty). Hoists, mills (hammer), pulverisers, punches, presses, shears, quarry plant, rubber machinery, screens (vibrating), textile machinery.	1,2	1,3	1,4	1,4	1,5	1,6
Class 4 Extra heavy duty	Crushers (gyratory-jaw roll), mills (ball-rod-tube).	1,3	1,4	1,5	1,5	1,6	1,8

# Belt cross section





## Recommended standard pulley diameters for faster shaft

Pulley datum diameters	50	56	60	63	67	71	75	80	85	90	95	100	106	112	118	125	132	140	150	160	170	180	190	200	212	
Z	✓*	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
A																										
B																										
C																										
D																										
SP2/GP2-XP																										
SP6/GP6-XP																										
SP8/GP8-XP																										
SPC/GPC-XP																										
ZK	✓*	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
AK																										
BK																										
CK																										
KP2		✓*	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
KP6																										
KP8																										
KPC																										

\*Shows minimum pulley diameter for particular section. If smaller pulley diameter is used, the belt service life could be affected.

## Speed ratios with standard pulley diameters

Pulley datum diameter [mm]	50	56	60	63	67	71	75	80	85	90	95	100	106	112	118	125	132	140	150	160	170	180	190	200	212
50	1	1.12	1.20	1.26	1.34	1.42	1.50	1.60	1.70	1.80	1.90	2	2.12	2.24	2.36	2.50	2.64	2.80	3	3.20	3.40	3.60	3.80	4	4.24
56		1	1.07	1.13	1.20	1.27	1.34	1.43	1.52	1.61	1.70	1.79	1.89	2	2.11	2.23	2.36	2.50	2.68	2.86	3.04	3.21	3.39	3.57	3.79
60			1	1.05	1.12	1.18	1.25	1.33	1.42	1.50	1.58	1.67	1.77	1.87	1.97	2.08	2.20	2.33	2.50	2.67	2.83	3	3.17	3.33	3.53
63				1	1.06	1.13	1.19	1.27	1.35	1.43	1.51	1.59	1.68	1.78	1.87	1.98	2.10	2.22	2.38	2.54	2.70	2.86	3.02	3.17	3.37
67					1	1.06	1.12	1.19	1.27	1.36	1.42	1.49	1.58	1.67	1.76	1.87	1.97	2.09	2.24	2.39	2.54	2.69	2.85	2.99	3.16
71						1	1.06	1.12	1.20	1.27	1.36	1.41	1.49	1.58	1.66	1.76	1.84	1.91	2.11	2.25	2.39	2.54	2.68	2.82	2.99
75							1	1.07	1.13	1.20	1.27	1.33	1.41	1.49	1.57	1.67	1.74	1.87	2	2.13	2.27	2.40	2.53	2.67	2.83
80								1	1.06	1.13	1.19	1.25	1.32	1.40	1.48	1.56	1.65	1.75	1.88	2	2.13	2.25	2.38	2.50	2.65
85									1	1.06	1.12	1.18	1.25	1.32	1.39	1.47	1.55	1.65	1.76	1.88	2	2.12	2.24	2.35	2.49
90										1	1.06	1.11	1.18	1.24	1.31	1.39	1.47	1.56	1.67	1.78	1.89	2	2.11	2.22	2.36
95											1	1.05	1.12	1.18	1.24	1.32	1.39	1.47	1.58	1.68	1.79	1.89	2	2.11	2.23
100												1	1.06	1.12	1.18	1.25	1.32	1.40	1.50	1.60	1.70	1.80	1.90	2	2.12
106													1	1.06	1.11	1.18	1.25	1.32	1.42	1.51	1.60	1.70	1.79	1.89	2
112														1	1.06	1.12	1.18	1.25	1.34	1.43	1.52	1.61	1.70	1.79	1.89
118															1	1.06	1.12	1.19	1.27	1.36	1.44	1.53	1.61	1.69	1.80
125																1	1.06	1.12	1.20	1.28	1.36	1.44	1.52	1.60	1.70
132																	1	1.06	1.14	1.21	1.29	1.36	1.44	1.52	1.63
140																		1	1.07	1.14	1.21	1.29	1.36	1.43	1.53
150																			1	1.07	1.13	1.20	1.27	1.33	1.43
160																				1	1.06	1.13	1.19	1.25	1.33
170																					1	1.06	1.12	1.18	1.25
180																						1	1.06	1.11	1.18
190																							1	1.05	1.12
200																								1	1.04
212																									1
224																									
236																									
250																									
265																									
280																									
300																									
315																									
335																									
355																									
375																									
400																									
425																									
450																									
475																									
500																									
530																									
560																									
630																									
710																									
800																									
900																									
1 000																									
1 250																									

# Correction factors

**Table 7**

**Arc of contact power correction factor  $C_3$**

$\frac{D-d}{CC}^*$	Arc of contact on small pulley	Arc of contact correction factor $C_3$
mm	deg.	-
0,00	180	1,00
0,05	177	0,99
0,10	174	0,99
0,15	171	0,98
0,20	169	0,97
0,25	166	0,97
0,30	163	0,96
0,35	160	0,95
0,40	157	0,94
0,45	154	0,93
0,50	151	0,93
0,55	148	0,92
0,60	145	0,91
0,65	142	0,90
0,70	139	0,89
0,75	136	0,88
0,80	133	0,87
0,85	130	0,86
0,90	127	0,85
0,95	123	0,83
1,00	120	0,82
1,05	117	0,81
1,10	113	0,80
1,15	100	0,78
1,20	107	0,77
1,25	104	0,75
1,30	101	0,73
1,35	97	0,72
1,40	93	0,70

\*D Large pulley diameter  
d Small pulley diameter  
CC Centre to centre distance

**Table 8**

**Belt length correction factor  $C_1$**

Belt length	Correction factor									
	SPZ	SPA	SPB	SPC	BV	Z	A	B	C	D
	SPZ-XP	SPA-XP	SPB-XP	SPC-XP	BV-XP	ZX	AX	BX	CX	
	XPZ	XPA	XPB	XPC						
	3V		5V							
	3V-XP		5V-XP							
	3VX		5VX							
mm	-									
400	0,50					0,87	0,68			
475	0,65					0,90	0,74	0,64		
530	0,74					0,93	0,78	0,70		
630	0,82	0,77				0,96	0,81	0,76		
710	0,84	0,79				0,99	0,83	0,78		
900	0,88	0,83	0,76			1,05	0,87	0,82	0,73	
1000	0,90	0,85	0,78			1,06	0,89	0,84	0,76	
1120	0,93	0,87	0,80			1,08	0,91	0,86	0,78	
1250	0,95	0,89	0,82			1,11	0,93	0,88	0,80	
1400	0,96	0,91	0,84	0,70		1,14	0,96	0,90	0,82	
1600	1,00	0,93	0,86	0,74		1,17	0,99	0,93	0,84	
1800	1,01	0,95	0,88	0,77		1,22	1,01	0,95	0,86	
2000	1,02	0,96	0,90	0,80	0,78	1,25	1,03	0,98	0,88	0,78
2240	1,05	0,98	0,92	0,83	0,80	1,28	1,06	1,00	0,91	0,80
2500	1,07	1,00	0,94	0,86	0,80	1,29	1,09	1,03	0,93	0,82
2800	1,09	1,02	0,96	0,88	0,82	1,29	1,11	1,05	0,95	0,84
3150	1,11	1,04	0,98	0,90	0,84		1,13	1,07	0,97	0,86
3550	1,13	1,06	1,00	0,92	0,86		1,15	1,09	0,99	0,88
4000	1,13	1,08	1,02	0,94	0,89		1,17	1,13	1,02	0,91
4500	1,13	1,09	1,04	0,96	0,91		1,17	1,15	1,04	0,93
5000		1,09	1,06	0,98	0,94		1,17	1,18	1,07	0,96
5600		1,09	1,08	1,00	0,96		1,17	1,20	1,09	0,98
6300			1,10	1,02	0,99		1,17	1,23	1,12	1,01
7100			1,12	1,04	1,02			1,23	1,15	1,04
8000			1,14	1,06	1,04			1,23	1,18	1,06
9000			1,14	1,08	1,07			1,23	1,21	1,09
10000			1,14	1,10	1,09			1,23	1,23	1,11
11200				1,12	1,12				1,23	1,14
12500				1,14	1,15				1,23	1,17

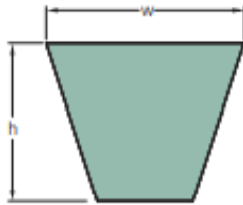
Power ratings  
Section SPZ-XP/3V-XP

Table 9s

Faster shaft speed  r/min	Rated power per belt for small pulley datum diameter [mm]													Additional power per belt for speed ratio				
														1.00 to 1.05	1.06 to 1.24	1.25 to 1.59	> 1.59	
	67	71	75	80	85	90	95	100	112	125	132	140	kW					
100	0.13	0.15	0.16	0.18	0.20	0.22	0.24	0.25	0.30	0.35	0.37	0.40	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01	
500	0.53	0.60	0.67	0.75	0.83	0.92	1.00	1.08	1.28	1.49	1.61	1.74	0.01	0.04	0.04	0.06	0.07	
720	0.72	0.82	0.91	1.03	1.15	1.26	1.38	1.50	1.77	2.07	2.23	2.41	0.01	0.05	0.09	0.10	0.10	
800	0.79	0.89	1.00	1.13	1.26	1.39	1.51	1.64	1.95	2.27	2.45	2.65	0.01	0.06	0.10	0.11	0.11	
900	0.87	0.99	1.10	1.25	1.39	1.53	1.68	1.82	2.16	2.52	2.72	2.94	0.01	0.07	0.11	0.12	0.12	
960	0.92	1.04	1.16	1.32	1.47	1.62	1.78	1.93	2.29	2.67	2.88	3.11	0.02	0.07	0.11	0.13	0.13	
1000	0.95	1.08	1.21	1.36	1.52	1.68	1.84	2.00	2.37	2.77	2.98	3.23	0.02	0.07	0.12	0.14	0.14	
1100	1.03	1.17	1.31	1.48	1.65	1.83	2.00	2.17	2.58	3.01	3.24	3.51	0.02	0.08	0.13	0.15	0.15	
1200	1.10	1.25	1.41	1.59	1.78	1.97	2.15	2.34	2.78	3.25	3.50	3.79	0.02	0.09	0.14	0.17	0.17	
1300	1.18	1.34	1.50	1.71	1.91	2.11	2.31	2.51	2.98	3.49	3.76	4.06	0.02	0.09	0.15	0.18	0.18	
1400	1.25	1.42	1.60	1.82	2.03	2.25	2.46	2.67	3.18	3.72	4.01	4.33	0.02	0.10	0.17	0.19	0.19	
1440	1.28	1.46	1.64	1.86	2.08	2.30	2.52	2.74	3.26	3.81	4.10	4.44	0.02	0.10	0.17	0.20	0.20	
1500	1.32	1.51	1.69	1.92	2.15	2.38	2.61	2.84	3.37	3.95	4.25	4.60	0.02	0.11	0.18	0.21	0.21	
1600	1.39	1.59	1.79	2.03	2.27	2.52	2.76	3.00	3.56	4.17	4.49	4.86	0.03	0.12	0.19	0.22	0.22	
1700	1.46	1.67	1.88	2.14	2.39	2.65	2.90	3.15	3.75	4.39	4.73	5.12	0.03	0.12	0.20	0.24	0.24	
1800	1.53	1.75	1.97	2.24	2.51	2.78	3.05	3.31	3.94	4.61	4.97	5.37	0.03	0.13	0.21	0.25	0.25	
1900	1.59	1.83	2.06	2.34	2.63	2.91	3.19	3.46	4.12	4.83	5.20	5.62	0.03	0.14	0.23	0.26	0.26	
2000	1.66	1.90	2.14	2.44	2.74	3.03	3.33	3.62	4.30	5.04	5.43	5.86	0.03	0.15	0.24	0.28	0.28	
2100	1.72	1.98	2.23	2.54	2.85	3.16	3.46	3.77	4.48	5.25	5.65	6.10	0.03	0.15	0.25	0.29	0.29	
2200	1.79	2.05	2.31	2.64	2.96	3.28	3.60	3.91	4.66	5.45	5.87	6.34	0.04	0.16	0.26	0.30	0.30	
2300	1.85	2.12	2.40	2.74	3.07	3.40	3.73	4.06	4.83	5.65	6.08	6.57	0.04	0.17	0.27	0.32	0.32	
2400	1.91	2.20	2.48	2.83	3.18	3.52	3.86	4.20	5.00	5.85	6.30	6.80	0.04	0.17	0.29	0.33	0.33	
2500	1.97	2.27	2.56	2.92	3.28	3.64	3.99	4.34	5.17	6.04	6.51	7.02	0.04	0.18	0.30	0.35	0.35	
2600	2.03	2.34	2.64	3.02	3.39	3.76	4.12	4.48	5.34	6.24	6.71	7.24	0.04	0.19	0.31	0.36	0.36	
2700	2.09	2.41	2.72	3.11	3.49	3.87	4.25	4.62	5.50	6.42	6.91	7.46	0.04	0.20	0.32	0.37	0.37	
2800	2.15	2.47	2.80	3.20	3.59	3.98	4.37	4.75	5.66	6.61	7.11	7.67	0.05	0.20	0.33	0.39	0.39	
2880	2.19	2.53	2.86	3.27	3.67	4.07	4.47	4.86	5.78	6.75	7.26	7.83	0.05	0.21	0.34	0.40	0.40	
2900	2.20	2.54	2.87	3.28	3.69	4.09	4.49	4.89	5.81	6.79	7.30	7.87	0.05	0.21	0.34	0.40	0.40	
3000	2.26	2.60	2.95	3.37	3.79	4.20	4.61	5.02	5.97	6.96	7.49	8.07	0.05	0.22	0.36	0.42	0.42	
3100	2.31	2.67	3.02	3.46	3.89	4.31	4.73	5.15	6.12	7.14	7.67	8.26	0.05	0.23	0.37	0.43	0.43	
3200	2.37	2.73	3.09	3.54	3.98	4.42	4.85	5.27	6.27	7.31	7.85	8.45	0.05	0.23	0.38	0.44	0.44	
3300	2.42	2.79	3.16	3.62	4.07	4.52	4.96	5.39	6.41	7.47	8.02	8.64	0.05	0.24	0.39	0.46	0.46	
3400	2.47	2.86	3.23	3.70	4.17	4.62	5.07	5.52	6.55	7.63	8.19	8.82	0.06	0.25	0.40	0.47	0.47	
3500	2.52	2.92	3.30	3.78	4.26	4.72	5.18	5.63	6.69	7.79	8.36	8.99	0.06	0.25	0.42	0.49	0.49	
3600	2.57	2.97	3.37	3.86	4.34	4.82	5.29	5.75	6.83	7.94	8.52	9.16	0.06	0.26	0.43	0.50	0.50	
3700	2.62	3.03	3.44	3.94	4.43	4.92	5.40	5.87	6.96	8.09	8.68	9.32	0.06	0.27	0.44	0.51	0.51	
3800	2.67	3.09	3.50	4.01	4.52	5.01	5.50	5.98	7.09	8.24	8.83	9.48	0.06	0.28	0.45	0.53	0.53	
3900	2.72	3.14	3.57	4.09	4.60	5.10	5.60	6.09	7.22	8.38	8.97	9.63	0.06	0.28	0.46	0.54	0.54	
4000	2.76	3.20	3.63	4.16	4.68	5.20	5.70	6.19	7.34	8.51	9.11	9.77	0.07	0.29	0.48	0.55	0.55	
4200	2.85	3.30	3.75	4.30	4.84	5.37	5.89	6.40	7.58	8.77	9.38	10.04	0.07	0.31	0.50	0.58	0.58	
4400	2.93	3.40	3.87	4.44	4.99	5.54	6.07	6.60	7.80	9.01	9.62	10.29	0.07	0.32	0.52	0.61	0.61	
4600	3.02	3.50	3.98	4.56	5.14	5.70	6.25	6.78	8.00	9.23	9.85	10.51	0.08	0.34	0.55	0.64	0.64	
4800	3.09	3.59	4.08	4.69	5.28	5.85	6.41	6.96	8.20	9.43	10.05	10.70	0.08	0.35	0.57	0.67	0.67	
5000	3.16	3.68	4.18	4.80	5.41	5.99	6.56	7.12	8.38	9.61	10.22	10.87	0.08	0.36	0.59	0.69	0.69	
5200	3.23	3.76	4.28	4.91	5.53	6.13	6.71	7.27	8.54	9.77	10.38	11.01	0.09	0.38	0.62	0.72	0.72	
5400	3.30	3.84	4.37	5.02	5.64	6.25	6.84	7.41	8.68	9.91	10.50	11.11	0.09	0.39	0.64	0.75	0.75	
5600	3.36	3.91	4.45	5.11	5.75	6.37	6.97	7.54	8.81	10.03	10.60	11.19	0.09	0.41	0.67	0.78	0.78	
5800	3.41	3.98	4.53	5.20	5.85	6.48	7.08	7.65	8.93	10.12	10.68	11.24	0.10	0.42	0.69	0.80	0.80	
6000	3.46	4.04	4.60	5.28	5.94	6.57	7.18	7.76	9.02	10.19	10.73	-	0.10	0.44	0.71	0.83	0.83	
6200	3.51	4.09	4.67	5.36	6.02	6.66	7.27	7.85	9.10	10.24	-	-	0.10	0.45	0.74	0.86	0.86	
6400	3.55	4.15	4.73	5.43	6.10	6.74	7.35	7.92	9.16	10.26	-	-	0.11	0.47	0.76	0.89	0.89	
6600	3.58	4.19	4.78	5.49	6.16	6.80	7.41	7.98	9.20	-	-	-	0.11	0.48	0.79	0.91	0.91	
6800	3.62	4.23	4.83	5.54	6.22	6.86	7.47	8.03	9.22	-	-	-	0.11	0.50	0.81	0.94	0.94	
7000	3.64	4.27	4.87	5.58	6.26	6.91	7.51	8.07	9.22	-	-	-	0.12	0.51	0.83	0.97	0.97	
7200	3.67	4.29	4.90	5.62	6.30	6.94	7.54	8.09	-	-	-	-	0.12	0.52	0.86	1.00	1.00	
7400	3.68	4.32	4.93	5.65	6.33	6.96	7.55	8.09	-	-	-	-	0.12	0.54	0.88	1.03	1.03	
7600	3.69	4.33	4.94	5.67	6.35	6.98	7.55	-	-	-	-	-	0.13	0.55	0.90	1.05	1.05	
7800	3.70	4.34	4.96	5.68	6.35	-	-	-	-	-	-	-	0.13	0.57	0.93	1.08	1.08	
8000	3.70	4.35	4.96	5.68	-	-	-	-	-	-	-	-	0.13	0.58	0.95	1.11	1.11	

■ For speeds exceeding 33 m/s, SKF recommends using dynamically balanced pulleys made of steel. Pulley diameters for 3V section are outside diameter.

SKF Wrapped Wedge Belts  
SPZ | SPA



Section	Dimensions			Designation	Section	Dimensions			Designation	Section	Dimensions			Designation	
	Pitch length	w	h			Pitch length	w	h			Pitch length	w	h		
-	mm			-	-	mm			-	mm			-		
SPZ	512	9,7	8	PHG SPZ512	SPZ	1 250	9,7	8	PHG SPZ1250	SPZ	2 360	9,7	8	PHG SPZ2360	
	560	9,7	8	PHG SPZ560		1 262	9,7	8	PHG SPZ1262		2 410	9,7	8	PHG SPZ2410	
	562	9,7	8	PHG SPZ562		1 270	9,7	8	PHG SPZ1270		2 500	9,7	8	PHG SPZ2500	
	587	9,7	8	PHG SPZ587		1 287	9,7	8	PHG SPZ1287		2 540	9,7	8	PHG SPZ2540	
	612	9,7	8	PHG SPZ612		1 312	9,7	8	PHG SPZ1312		2 580	9,7	8	PHG SPZ2580	
	630	9,7	8	PHG SPZ630		1 320	9,7	8	PHG SPZ1320		2 650	9,7	8	PHG SPZ2650	
	637	9,7	8	PHG SPZ637		1 337	9,7	8	PHG SPZ1337		2 690	9,7	8	PHG SPZ2690	
	662	9,7	8	PHG SPZ662		1 340	9,7	8	PHG SPZ1340		2 800	9,7	8	PHG SPZ2800	
	670	9,7	8	PHG SPZ670		1 347	9,7	8	PHG SPZ1347		2 840	9,7	8	PHG SPZ2840	
	687	9,7	8	PHG SPZ687		1 362	9,7	8	PHG SPZ1362		2 900	9,7	8	PHG SPZ2900	
	710	9,7	8	PHG SPZ710		1 387	9,7	8	PHG SPZ1387		3 000	9,7	8	PHG SPZ3000	
	722	9,7	8	PHG SPZ722		1 400	9,7	8	PHG SPZ1400		3 150	9,7	8	PHG SPZ3150	
	737	9,7	8	PHG SPZ737		1 412	9,7	8	PHG SPZ1412		3 170	9,7	8	PHG SPZ3170	
	750	9,7	8	PHG SPZ750		1 420	9,7	8	PHG SPZ1420		3 350	9,7	8	PHG SPZ3350	
	760	9,7	8	PHG SPZ760		1 437	9,7	8	PHG SPZ1437		3 550	9,7	8	PHG SPZ3550	
	762	9,7	8	PHG SPZ762		1 462	9,7	8	PHG SPZ1462		SPA	732	12,7	10	PHG SPA732
	772	9,7	8	PHG SPZ772		1 487	9,7	8	PHG SPZ1487			757	12,7	10	PHG SPA757
	787	9,7	8	PHG SPZ787		1 500	9,7	8	PHG SPZ1500			775	12,7	10	PHG SPA775
	800	9,7	8	PHG SPZ800		1 512	9,7	8	PHG SPZ1512			782	12,7	10	PHG SPA782
	812	9,7	8	PHG SPZ812		1 520	9,7	8	PHG SPZ1520			800	12,7	10	PHG SPA800
	825	9,7	8	PHG SPZ825		1 537	9,7	8	PHG SPZ1537			807	12,7	10	PHG SPA807
	837	9,7	8	PHG SPZ837		1 562	9,7	8	PHG SPZ1562			832	12,7	10	PHG SPA832
	850	9,7	8	PHG SPZ850		1 587	9,7	8	PHG SPZ1587			850	12,7	10	PHG SPA850
	862	9,7	8	PHG SPZ862		1 600	9,7	8	PHG SPZ1600			857	12,7	10	PHG SPA857
	875	9,7	8	PHG SPZ875		1 612	9,7	8	PHG SPZ1612			882	12,7	10	PHG SPA882
	887	9,7	8	PHG SPZ887		1 637	9,7	8	PHG SPZ1637			900	12,7	10	PHG SPA900
	900	9,7	8	PHG SPZ900		1 650	9,7	8	PHG SPZ1650			907	12,7	10	PHG SPA907
	912	9,7	8	PHG SPZ912		1 662	9,7	8	PHG SPZ1662		925	12,7	10	PHG SPA925	
	925	9,7	8	PHG SPZ925		1 687	9,7	8	PHG SPZ1687		932	12,7	10	PHG SPA932	
	937	9,7	8	PHG SPZ937		1 700	9,7	8	PHG SPZ1700		950	12,7	10	PHG SPA950	
	950	9,7	8	PHG SPZ950		1 737	9,7	8	PHG SPZ1737		957	12,7	10	PHG SPA957	
	962	9,7	8	PHG SPZ962		1 750	9,7	8	PHG SPZ1750		969	12,7	10	PHG SPA969	
	987	9,7	8	PHG SPZ987		1 762	9,7	8	PHG SPZ1762		975	12,7	10	PHG SPA975	
1 000	9,7	8	PHG SPZ1000	1 787	9,7	8	PHG SPZ1787	982	12,7	10	PHG SPA982				
1 010	9,7	8	PHG SPZ1010	1 800	9,7	8	PHG SPZ1800	1 000	12,7	10	PHG SPA1000				
1 012	9,7	8	PHG SPZ1012	1 812	9,7	8	PHG SPZ1812	1 007	12,7	10	PHG SPA1007				
1 024	9,7	8	PHG SPZ1024	1 837	9,7	8	PHG SPZ1837	1 030	12,7	10	PHG SPA1030				
1 037	9,7	8	PHG SPZ1037	1 850	9,7	8	PHG SPZ1850	1 032	12,7	10	PHG SPA1032				
1 047	9,7	8	PHG SPZ1047	1 862	9,7	8	PHG SPZ1862	1 055	12,7	10	PHG SPA1055				
1 060	9,7	8	PHG SPZ1060	1 887	9,7	8	PHG SPZ1887	1 060	12,7	10	PHG SPA1060				
1 077	9,7	8	PHG SPZ1077	1 900	9,7	8	PHG SPZ1900	1 082	12,7	10	PHG SPA1082				
1 080	9,7	8	PHG SPZ1080	1 937	9,7	8	PHG SPZ1937	1 090	12,7	10	PHG SPA1090				
1 087	9,7	8	PHG SPZ1087	1 950	9,7	8	PHG SPZ1950	1 107	12,7	10	PHG SPA1107				
1 112	9,7	8	PHG SPZ1112	1 987	9,7	8	PHG SPZ1987	1 120	12,7	10	PHG SPA1120				
1 120	9,7	8	PHG SPZ1120	2 000	9,7	8	PHG SPZ2000	1 132	12,7	10	PHG SPA1132				
1 137	9,7	8	PHG SPZ1137	2 037	9,7	8	PHG SPZ2037	1 150	12,7	10	PHG SPA1150				
1 140	9,7	8	PHG SPZ1140	2 060	9,7	8	PHG SPZ2060	1 157	12,7	10	PHG SPA1157				
1 150	9,7	8	PHG SPZ1150	2 120	9,7	8	PHG SPZ2120	1 180	12,7	10	PHG SPA1180				
1 162	9,7	8	PHG SPZ1162	2 137	9,7	8	PHG SPZ2137	1 190	12,7	10	PHG SPA1190				
1 180	9,7	8	PHG SPZ1180	2 160	9,7	8	PHG SPZ2160	1 200	12,7	10	PHG SPA1200				
1 187	9,7	8	PHG SPZ1187	2 187	9,7	8	PHG SPZ2187	1 207	12,7	10	PHG SPA1207				
1 200	9,7	8	PHG SPZ1200	2 240	9,7	8	PHG SPZ2240	1 220	12,7	10	PHG SPA1220				
1 202	9,7	8	PHG SPZ1202	2 262	9,7	8	PHG SPZ2262	1 232	12,7	10	PHG SPA1232				
1 212	9,7	8	PHG SPZ1212	2 280	9,7	8	PHG SPZ2280	1 250	12,7	10	PHG SPA1250				
1 237	9,7	8	PHG SPZ1237	2 287	9,7	8	PHG SPZ2287	1 257	12,7	10	PHG SPA1257				

# Ángulo de Acero ASTM A36



## ÁNGULO ESTRUCTURAL A36

Ángulo estructural de acero, es laminado en caliente (LAC), lados iguales forman ángulo recto con radios interiores suavizados, ideales para todas las aplicaciones estructurales, fabricación general y reparaciones.

Especificaciones: ASTM A36, AISI A36

Fácil de soldar, cortar, dar forma y maquinar. Longitud 6m.

Propiedades Mecánicas	Límite de Fluencia (kg/cm <sup>2</sup> ) mín.	2530
	Resistencia a la Tracción (kg/cm <sup>2</sup> )	4080-5620
	Alargamiento en 200 mm 2.0 mm, 2.5 mm, 3.0 mm, 1/8", 3/32", 4.5 mm y 3/16"	15.0% mínimo
	Alargamiento en 200 mm 6.0 mm	17.0% mínimo
	Alargamiento en 200 mm 1/4"	17.5% mínimo
	Alargamiento en 200 mm 5/16", 3/8" y 1/2"	20.0% mínimo

Lados		Espesor		Peso Teórico
mm	pulg	mm	pulg	Kg/6m
19 x 19	3/4" x 3/4"	2.0	5/64"	3.582
		2.5	3/32"	4.416
		3.0	1/8"	5.226
25 x 25	1" x 1"	3.0	1/8"	7.143
		4.5	3/16"	10.358
		6.0	1/4"	13.304
30 x 30	1 1/4" x 1 1/4"	3.0	1/8"	9.018
		4.5	3/16"	13.215
		6.0	1/4"	17.144
38 x 38	1 1/2" x 1 1/2"	3.0	1/8"	10.983
		4.5	3/16"	16.072
		6.0	1/4"	20.894
50 x 50	2" x 2"	3.0	1/8"	14.733
		4.5	3/16"	21.787
		6.0	1/4"	28.483
		8.0	5/16"	35.002
63 x 63	2 1/2" x 2 1/2"	9.5	3/8"	41.966
		4.5	3/16"	27.412
		6.0	1/4"	36.609
75 x 75	3" x 3"	8.0	5/16"	44.645
		9.5	3/8"	52.681
		4.5	3/16"	33.126
100 x 100	4" x 4"	6.0	1/4"	42.752
		8.0	5/16"	54.467
		9.5	3/8"	64.289
		12	1/2"	83.932
		6.0	1/4"	58.932
		8.0	5/16"	73.218
		9.5	3/8"	87.504
		12	1/2"	114.288

\* Equivalencias de conversión son aproximadas.

## Anexo 04. Ficha técnica de acero inoxidable AISI 304



### ACERO INOXIDABLE ACERO AISI 304/304L



**1. Descripción:** Debido a su buena resistencia a la corrosión, conformado en frío y soldabilidad, este acero es usado extensamente para la fabricación de utensilios domésticos, cuchillería, arquitectura e industrial entre otros, es un acero austenítico, aleado con Cr y Ni y bajo contenido de C que presenta una buena resistencia a la corrosión. En la condición de suministro resiste a la corrosión intergranular en el rango de 300°C y 350°C, no se requiere un tratamiento posterior al proceso de soldadura; tiene propiedades para embutido profundo, no es templeable ni magnético. Puede ser fácilmente trabajado en frío, sin embargo, el alto grado de endurecimiento que alcanza por el trabajo en frío, comparado con los aceros de baja aleación, hacen requerir de mayores esfuerzos para su proceso de conformado.

**2. Normas involucradas:** ASTM A 312/ A 312M

**3. Propiedades mecánicas:**

Resistencia a la fluencia 170 MPa  
Resistencia máxima 485 MPa  
Elongación 40 % (en 50mm)  
Reducción de área 50 %  
Módulo de elasticidad 190 GPa

**4. Propiedades físicas:** Densidad 7.8 g/cm<sup>3</sup> (0.28 lb/in<sup>3</sup>)

**5. Propiedades químicas:** 0.035 % C mín  
2.00 % Mn  
1.00 % Si  
18.0 – 20.0 % Cr  
8.0 – 12 % Ni  
0.045 % P  
0.030 % S

**6. Usos:** Sus usos son muy variados, se destacan los equipos para procesamiento de alimentos, enfriadores de leche, intercambiadores de calor, contenedores de productos químicos, tanques para almacenamiento de vinos y cervezas, partes para extintores de fuego.

**7. Tratamientos térmicos:** Éste acero inoxidable no puede ser endurecido por tratamiento térmico. Para el recocido, caliente entre 1010 y 1120°C y enfríe rápidamente.

**NOTA:**

Los valores expresados en las propiedades mecánicas y físicas corresponden a los valores promedio que se espera cumpla el material. Tales valores son para orientar a aquella persona que debe diseñar o construir algún componente o estructura pero en ningún momento se deben considerar como valores estrictamente exactos para su uso en el diseño.

(506) 2591-7514 ☎

(506) 2551-4169 📠

info.clientes@sumiteccr.com ✉



www.sumiteccr.com



## Anexo 05. Ficha técnica de planchas y bobinas de acero inoxidable AISI 304



### PLANCHAS Y BOBINAS DE ACERO INOXIDABLE AISI 304 - 316

**Descripción:** Productos planos que se obtienen por laminación de planchones de aceros aleados al Cromo, Níquel con buena resistencia a la corrosión por agua, ácidos y soluciones alcalinas.

Los Aceros Inoxidables se clasifican bajo la Norma AISI que considera la composición química.

**Usos:** Los aceros inoxidables de mayor uso son los Auténticos

AISI 304	Tubos, Calderería, Menaje, Industria Alimentaria
AISI 316	Industria Textil, Alimentaria, Química y Petroquímica.

#### Propiedades Mecánicas

NORMA TÉCNICA	Límite de Fluencia (F) Kg/mm <sup>2</sup>	Resistencia a la Tracción (R) Kg/mm <sup>2</sup>	Elongación (A) %	
ASTM A-240	AISI 304	21 mínimo	52 mínimo	40 mínimo
	AISI 304L	17 mínimo	49 mínimo	40 mínimo
	AISI 316	21 mínimo	52 mínimo	40 mínimo
	AISI 316L	17 mínimo	49 mínimo	40 mínimo

#### Composición Química

AISI	C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Mo
AISI 304	0.08	2.00	1.00	0.045	0.03	18.0/20.0	8.0/10.5	---
AISI 304L	0.03	2.00	1.00	0.045	0.03	18.0/20.0	8.0/12.0	---
AISI 316	0.08	2.00	1.00	0.045	0.03	16.0/18.0	10.0/14.0	2.0/3.0
AISI 316L	0.03	2.00	1.00	0.045	0.03	16.0/18.0	10.0/14.0	2.0/3.0

#### Planchas laminada en frío

SISTEMA INGLÉS Espesor Equiv.(pulg)	SISTEMA METRICO (mm)	TOLERANCIA ESPESOR +/- en mms	PESO TEORICO kg/pl
1/8"	3.0 x 1220 x 2440	0.23	70.70
1/8"	3.0 x 1524 x 3048	0.23	110.51
3/16"	4.5 x 1220 x 2440	0.34	106.05
3/16"	4.5 x 1524 x 3048	0.34	165.76
1/4"	6.0 x 1220 x 2440	0.38	141.40
1/4"	6.0 x 1524 x 3048	0.38	221.02
3/8"	9.0 x 1524 x 3048	0.50	331.52

#### Planchas laminada en caliente

SISTEMA INGLÉS Espesor Equiv.(pulg)	SISTEMA METRICO (mm)	TOLERANCIA ESPESOR +/- en mms	PESO TEORICO kg/pl
1/64"	0.4 x 1220 x 2440	0.04	9.43
1/54"	0.5 x 1220 x 2440	0.04	11.78
1/40"	0.6 x 1220 x 2440	0.04	14.14
1/32"	0.8 x 1220 x 2440	0.05	18.85
1/27"	0.9 x 1220 x 2440	0.05	21.21
1/20"	1.2 x 1220 x 2440	0.08	28.28
1/16"	1.5 x 1220 x 2440	0.08	35.35
5/64"	2.0 x 1220 x 2440	0.08	47.13
3/32"	2.5 x 1220 x 2440	0.13	58.91
1/8"	3.0 x 1220 x 2440	0.13	70.70

**Nota:** Tolerancia según ASTM A-480

## W22

Motor Eléctrico Monofásico  
Catálogo Comercial  
Mercado Latinoamericano



Motores | Automatización | Energía | Transmisión & Distribución | Pinturas



# Datos Eléctricos

## W22 Monofásico - Con condensador de arranque o arranque y permanente - 50 Hz

Potencia		Carcasa	Par nominal Tn (kgfm)	Corriente con rotor trabado I/n	Par con rotor trabado Tn/Tn	Par Máximo Tb/Tn	Momento de Inercia J (kgm²)	Tiempo máximo con rotor trabado (s)	Peso (kg)	Nivel de ruido dB (A)	RPM	% de la potencia nominal						Corriente nominal In (A)	
kW	HP											Rendimiento			Factor de potencia			220 V	440 V
												50	75	100	50	75	100		
<b>II Poles</b>																			
0,12	0,16	63	0,041	3,3	0,7	2,1	0,0002	20	9,0	47	2820	33,0	43,0	51,0	0,80	0,86	0,92	1,16	0,580
0,18	0,25	63	0,061	6,5	2,6	2,5	0,0002	5	10,3	47	2890	37,2	47,8	54,5	0,82	0,88	0,90	1,67	0,835
0,25	0,33	63	0,085	5,8	2	2,1	0,0002	5	10,5	47	2870	43,1	53,6	59,5	0,76	0,85	0,95	2,02	1,01
0,37	0,5	71	0,129	8,5	2,4	2,9	0,0005	6	13,0	57	2930	51,0	62,0	69,5	0,72	0,82	0,86	2,82	1,41
0,55	0,75	71	0,183	7,5	2,2	2,2	0,0006	5	13,5	57	2920	52,8	63,5	71,5	0,87	0,94	0,97	3,61	1,80
0,75	1	80	0,251	7,6	2,1	2,4	0,0010	9	18,0	62	2915	60,5	71,7	75,0	0,62	0,84	0,89	5,11	2,56
1,1	1,5	80	0,374	6,3	2,3	2,0	0,0011	11	19,0	62	2865	69,0	77,9	78,6	0,70	0,91	0,94	6,77	3,39
1,5	2	90S	0,504	7,3	2	2,2	0,0022	7	24,0	66	2900	73,9	79,2	80,0	0,85	0,90	0,94	9,07	4,54
2,2	3	90L	0,740	6,8	2,3	2,1	0,0028	6	27,0	66	2895	75,5	80,0	80,0	0,90	0,93	0,96	13,1	6,53
3	4	100L	1,01	6,1	1,95	2,1	0,0070	6	40,0	69	2895	75,0	80,5	81,0	0,89	0,95	0,96	17,4	8,77
3,7	5	112M	1,24	8,0	2,4	2,5	0,0095	6	48,5	69	2910	82,0	85,2	85,0	0,93	0,95	0,97	20,4	10,2
5,5	7,5	132M	1,85	7,7	2,4	2,6	0,0234	6	71,0	69	2900	80,7	84,7	85,0	1,00	1,00	0,99	29,8	14,90
7,5	10	132M	2,50	9,0	1,8	3,1	0,0288	6	80,0	69	2920	82,7	85,8	86,0	0,94	0,96	0,97	41,0	20,50
9,2	12,5	132ML	3,07	8,5	1,7	2,9	0,0342	6	88,5	69	2920	86,1	88,3	88,0	0,99	0,99	0,99	48,0	24,0
<b>IV Poles</b>																			
0,18	0,25	71	0,121	5,8	3,8	2,6	0,0008	12	13,2	53	1450	38,8	49,0	55,5	0,56	0,64	0,73	2,02	1,01
0,25	0,33	71	0,169	6,4	4	2,3	0,0009	9	13,7	53	1440	42,7	53,0	59,0	0,65	0,73	0,78	2,47	1,23
0,37	0,5	71	0,254	5,9	2,8	1,8	0,0009	16	14,1	53	1420	53,0	62,5	67,0	0,73	0,80	0,87	2,89	1,45
0,55	0,75	80	0,368	6,6	2,1	2,3	0,0030	7	18,3	53	1455	52,2	61,7	66,5	0,56	0,69	0,78	4,82	2,41
0,75	1	80	0,509	6,5	2,1	1,9	0,0032	6	18,7	53	1435	61,0	68,3	70,0	0,75	0,86	0,92	5,20	2,60
1,1	1,5	90S	0,744	6,6	2	1,9	0,0055	9	25,5	56	1440	63,1	70,8	73,5	0,90	0,94	0,95	7,16	3,58
1,5	2	90L*	1,01	7,5	2,4	1,9	0,0066	6	28,0	56	1450	65,8	73,3	75,5	0,94	0,96	0,97	9,32	4,66
2,2	3	100L	1,48	6,7	2	2,2	0,0097	10	38,5	56	1450	73,9	79,5	77,5	0,84	0,90	0,93	13,9	6,94
3	4	112M	2,04	6,7	2,4	2,4	0,0164	9	49,0	58	1430	72,4	78,0	78,5	0,81	0,91	0,93	18,7	9,36
3,7	5	132M	2,49	6,5	2,5	2,4	0,0357	6	67,0	61	1450	70,0	76,7	79,0	0,89	0,94	0,95	22,4	11,2
5,5	7,5	132M	3,69	7,0	2,9	2,5	0,0543	6	82,2	61	1450	73,7	79,5	81,5	0,89	0,93	0,95	32,2	16,1
7,5	10	132M*	5,07	6,0	2,7	2,5	0,0543	6	86,5	61	1440	77,0	81,9	83,0	0,85	0,91	0,93	44,2	22,1
<b>Carcasas opcionales</b>																			
0,37	0,5	80	0,245	6,0	2,0	2,8	0,0024	6	16,0	53	1470	40,0	50,0	57,0	0,54	0,65	0,75	3,94	1,97
3,7	5	112M*	2,52	6,0	2,3	2,2	0,0184	7	51,0	58	1430	72,5	78,2	78,5	0,81	0,88	0,91	23,6	11,8

## W22 Monofásico - Con condensador permanente - 50 Hz

Potencia		Carcasa	Par nominal Tn (kgfm)	Corriente con rotor trabado I/n	Par con rotor trabado Tn/Tn	Par Máximo Tb/Tn	Momento de Inercia J (kgm²)	Tiempo máximo con rotor trabado (s)	Peso (kg)	Nivel de ruido dB (A)	RPM	% de la potencia nominal						Corriente nominal In (A)	
kW	HP											Rendimiento			Factor de potencia			220 V	440 V
												50	75	100	50	75	100		
<b>II Poles</b>																			
0,18	0,25	63	0,064	4,0	0,7	2,0	0,0002	10	9,0	47	2750	50,0	57,0	63,0	0,86	0,92	0,94	1,45	0,725
0,25	0,33	63	0,087	3,8	0,8	2,0	0,0002	6	9,6	47	2795	48,0	55,0	62,0	0,77	0,84	0,88	2,10	1,05
0,37	0,5	71	0,129	3,9	0,8	2,0	0,0005	10	11,2	57	2800	60,0	66,0	70,0	0,90	0,95	0,99	2,40	1,20
0,55	0,75	71	0,190	4,5	0,7	1,6	0,0006	10	11,8	57	2820	63,0	70,0	73,0	0,98	0,99	0,99	3,46	1,73
0,75	1	80	0,261	3,8	0,56	2,06	0,0008	10	14,2	62	2800	59,0	69,0	73,5	0,98	0,99	0,99	4,69	2,35
1,1	1,5	80	0,372	7,3	0,5	1,7	0,0010	10	17,5	62	2880	62,0	68,0	70,0	0,97	0,98	0,99	7,22	3,61
1,5	2	90L	0,507	5,5	0,5	2,6	0,0028	10	28,0	66	2880	63,0	73,0	78,0	0,95	0,97	0,98	8,92	4,46
<b>IV Poles</b>																			
0,12	0,16	63	0,084	2,8	0,6	1,5	0,0007	10	9,6	45	1385	47,0	50,0	54,0	0,80	0,86	0,90	1,12	0,560
0,18	0,25	63	0,131	3,0	0,6	1,5	0,0007	10	9,6	45	1335	54,0	60,0	62,0	0,81	0,87	0,92	1,50	0,750
0,25	0,33	71	0,184	2,5	0,5	1,8	0,0009	10	11,5	53	1320	44,0	53,0	60,0	0,70	0,74	0,82	2,31	1,16
0,37	0,5	71	0,277	2,3	0,8	1,6	0,0010	10	11,5	53	1300	45,0	53,5	55,0	0,80	0,87	0,92	3,20	1,60
0,55	0,75	80*	0,380	4,0	0,63	2,0	0,0029	10	17,0	53	1410	43,0	53,0	59,0	0,71	0,80	0,87	5,00	2,50
0,75	1	80	0,518	4,5	0,5	1,5	0,0032	10	17,5	53	1410	57,0	67,0	71,0	0,90	0,94	0,96	4,80	2,40

Nota:

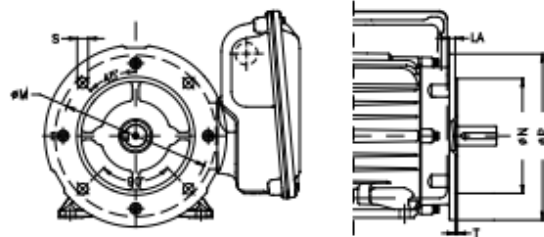
(\*) Motores con elevación de temperatura F (105K).

Carcasa	A	AA	AB	AC	AD	B	BB	BD	C	Eje					
										D	E	ES	F	G	GD
63	100	25.5	116	125	128	80	95	7.5	40	116	23	14	4	8.5	4
71	112	28.5	132	141	136	90	113.5	11.75	45	146	30	18	5	11	5
80	125	30.5	149	159	145	100	125.5	12.75	50	196	40	28	6	15.5	6
90S	140	37	164	179	155	125	131	15.5	56	246	50	36	8	20	7
90L					181		156								
100L	160	40	188	206	191	140	173	16.5	63	286	60	45	8	24	7
112M	190	40.5	220	226	206		177	18.5	70						
132S	216	45.5	248	272	234	178	187	23.5	89	386	80	63	10	33	8
132M							225								
132ML							250								

Carcasa	H	HA	HB	HC	HD	HH	HK	K	L <sup>1</sup>	L <sup>2</sup>	LL	LM	S1	Rodamientos	
														Delantero	Trasero
63	63	7	23	130	156.3	80	65	7	256	230	184	135	1xM20	6201 ZZ	6201 ZZ
71	71		31	145	163.8	90			293	250				6202 ZZ	6202 ZZ
80	80	8	41	163	174.3	100	10	10	326	277	221	206	1xM25	6204 ZZ	6203 ZZ
90S	90	45	182	182.4	106	334			305	6205 ZZ					
90L		26	118.5	358	329	221	206	12	12	418	-	246	232	1xM32	6206 ZZ
100L	100	43	203	244	133	423	246			6207 ZZ					
112M	112	10	40	226	280	140	94	12	451	-	246/286 <sup>3)</sup>	232	1xM32	6308 ZZ	6206 ZZ
132S	132	16	60	274	319	159			489	6308 ZZ					
132M						178									
132ML						190.5	514								

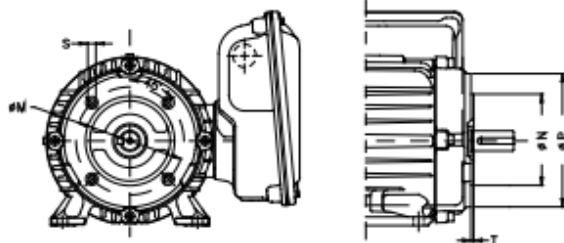
Nota:  
1) Para motores con condensador de arranque o arranque + permanente.  
2) Para motores con condensador permanente.  
3) Cota 286 mm para motores con 15 cv 2 polos / 10 y 12.5 cv 4 polos.

### Brida "FF"



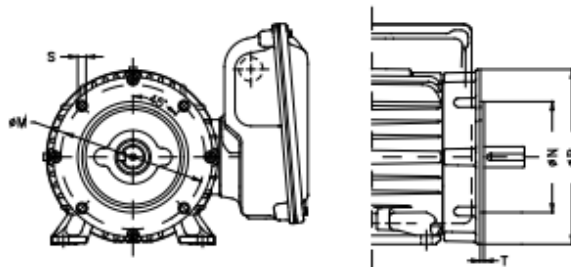
Brida "FF"									
Carcasa	Brida	LA	M	N	P	S	T	α	Nº de agujeros
63	FF-115	5.5	115	95	140	10	3	45°	4
71	FF-130	9	130	110	160		3		
80	FF-165	10	165	130	200	12	3.5	45°	4
90									
100	FF-215	12.5	215	180	250	15	4	45°	4
112									
132	FF-265	12	265	230	300				

### Brida "C-DIN"



Brida "C-DIN"									
Carcasa	Brida	M	N	P	S	T	α	Nº de agujeros	
63	C-90	75	60	90	M5	2.5	45°	4	
71	C-105	85	70	105	M6				
80	C-120	100	80	120	M8	3	45°	4	
90	C-140	115	95	140					
100	C-160	130	110	160	M8	3.5	45°	4	
112									
132	C-200	165	130	200	M10				

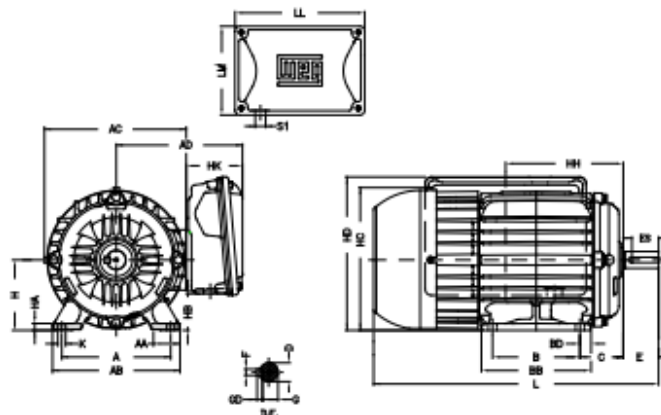
### Brida "NEMA-C"



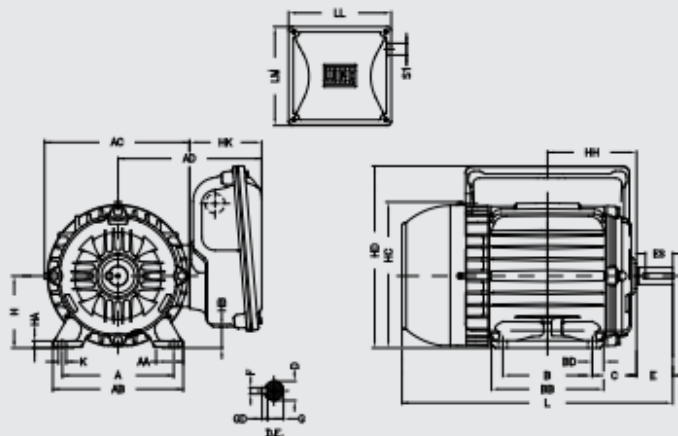
Brida "C-NEMA"									
Carcasa	Brida	M	N	P	S	T	α	Nº de agujeros	
63	FC-95	95.2	76.2	143	UNC 1/4"x20	4	45°	4	
71									
80	FC-149	149.2	114.3	165	UNC 3/8"x16	6.3	45°	4	
90									
100	FC-184	184.2	215.9	225	UNC 1/2"x13	6.3	45°	4	
112									
132									

## Datos Mecánicos (Con condensador de arranque y/o permanente)

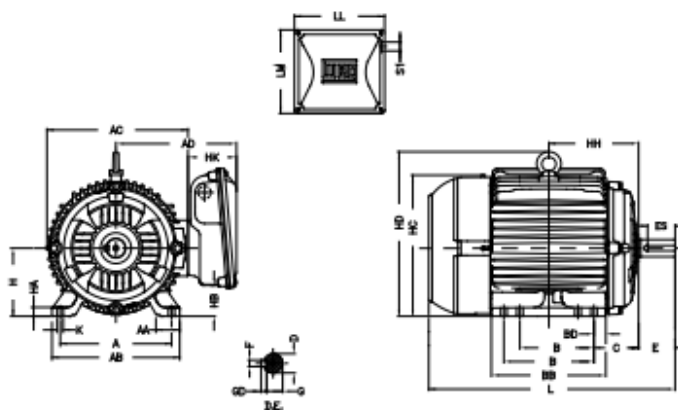
### Carcasas 68 hasta 90S



### Carcasa 90L hasta 112



### Carcasas 132



## Anexo 07. F4B 102 - FM



### F4B 102-FM



Unidad de rodamientos de bolas con pestaña cuadrada con aro interior estrecho y anillo de fijación excéntrico, soporte de fundición, normas norteamericanas

Estas unidades de rodamientos de bolas con pestaña cuadrada cumplen con las normas norteamericanas. Están formadas por un rodamiento de inserción, con un aro interior estrecho y fijación excéntrica, y están pensadas principalmente para el uso en aplicaciones en las que el sentido de giro es constante. El rodamiento está montado en un soporte de fundición, que puede atornillarse a la pared o al marco de la máquina. Las unidades de rodamientos de bolas pueden admitir una desalineación inicial moderada, pero normalmente no permiten el desplazamiento axial.

- Resisten altos niveles de contaminación
- Diseñados para altas temperaturas y velocidades
- Soportan cargas relativamente pesadas
- Rentables

### Overview

### Dimensiones

Diámetro del eje	28.575 mm
Ancho total del soporte	34.3 mm
Ancho total	47.6 mm
Distancia del centro entre los orificios para tornillos	82.6 mm
Ancho del rodamiento, total	35.7 mm

### Rendimiento

Capacidad de carga dinámica básica	19.5 kN
Capacidad de carga estática básica	11.2 kN
Velocidad límite	6 300 r/min
Note	Limiting speed with shaft tolerance h6

### Propiedades

Tipo de soporte	Con pestaña
Tipo de soporte con pestaña	Cuadrada
Cantidad de agujeros para tornillos de fijación	4
Tipo de orificio para tornillos de fijación	Plano
Elemento de retención, aro interior	Anillo excéntrico
Tipo de agujero	Cilíndrico
Aro de asiento de caucho	Sin
Material, soporte	Fundición

## Anexo 08. Ficha técnica de bomba Boyu

### Ficha técnica de producto:

# BOYU®

Marca:	BOYU®
Producto:	Bomba de agua SP-8500
Familia:	Bombas de agua
Tipo:	Bomba de achique
Presentaciones:	Caja de cartón

#### Descripción titular:

##### Una bomba para uno más.

La bomba de agua SP-8500 de BOYU eleva, transporta y circula agua dulce y salada de forma continua bajo las condiciones de trabajo más adversas y difíciles. Es ideal para estanques y sistemas al aire libre donde se requiere un alto caudal y una gran confiabilidad, gracias a sus 4200 litros por hora en superficie y su capacidad de elevación de hasta 4 metros de altura. A la hora de transvasar agua para llenar o vaciar un acuario o estanque, la bomba SP-8500 transportará casi hasta la última gota debido a su diseño de aspiración con rejilla de seguridad ubicado en la base de su cuerpo. Está formado por una estructura de plástico ABS inyectado con una carcasa exterior de acero inoxidable pulido con aleación de aluminio libre de fricción y muy resistente.



#### Datos técnicos:

Modelo:	Corriente: (V/Hz)	Consumo (W/h)	Protección al agua:	Long. Cable (cm)	Tipo de enchufe:	Peso: (gm.)	Dimensiones: (l x a x h, mm)	Peso c. embalaje: (grs.)	Dim. embalaje: (l x a x h, mm)
SP-8500	127V/60Hz	130	IPX68	480	"A" 3 pines	3,300	145 x 145 x 245	3,455	155 x 155 x 260

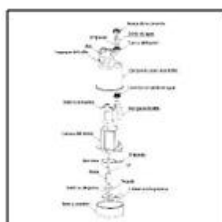
#### Datos técnicos:

#### Homologaciones: Compatibilidad:

CLAVE:	Acuarios entre: (l)	Caudal a aprox: (l/h)	Conexión: (Ø mm)	Cap. elevación: (cms.)	Temp. Máx: (°C)
BYSP-8500	2000-10000	4200	20	400	40



#### Imágenes descriptivas:



## Anexo 09. Ficha técnica manguera transparente TRUPER



### Mangueras industriales, rollos de 100 m

- Fabricadas en PVC flexible transparente
- Uso general para conducción de líquidos no abrasivos



### Especificaciones

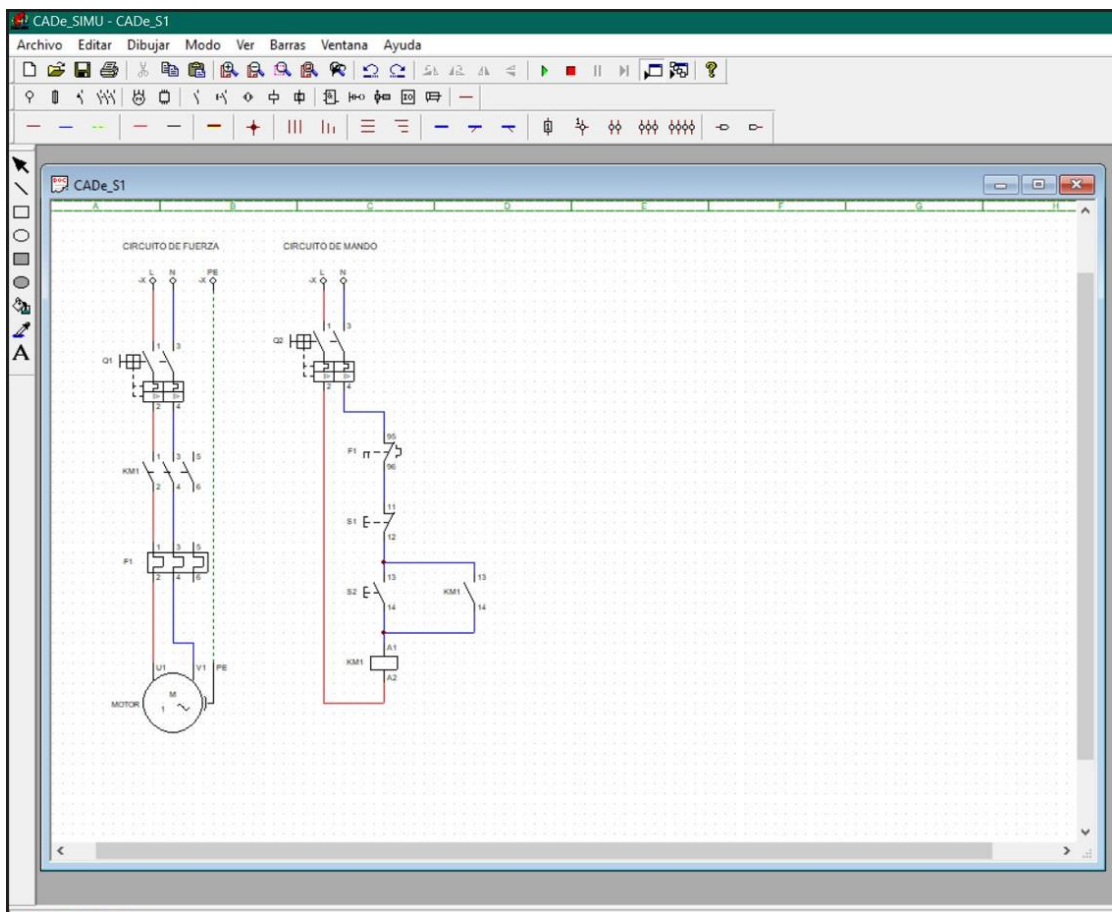
#### Individuales

Código	Clave	Diámetro	Espesor de pared	Peso por metro
19864	MAN-3/16I	3/16" (5 mm)	1 mm	21 g
19865	MAN-1/4I	1/4" (6,5 mm)	1 mm	27 g
19866	MAN-5/16I	5/16" (8 mm)	1.1 mm	39 g
19867	MAN-3/8I	3/8" (9,5 mm)	1.2 mm	48 g
19868	MAN-1/2I	1/2" (13 mm)	1.5 mm	80 g
19869	MAN-5/8I	5/8" (16 mm)	1.7 mm	122 g
19870	MAN-3/4I	3/4" (19 mm)	2 mm	150 g
19871	MAN-1I	1" (25 mm)	2.6 mm	317 g

#### Generales

<b>Largo</b>	100 m
<b>Empaque individual</b>	Rollo

## Anexo 10. Diagrama de potencia de tablero de control



**Anexo 11. Encuesta para los pobladores del anexo Señor de los Milagros – Satipo**



**ENCUESTA PARA LOS POBLADORES DEL ANEXO SEÑOR DE LOS MILAGROS – SATIPO**

**¿Qué cantidad de café produce al año?**

---

---

---

**¿Cuánto tiempo se demora en el proceso de lavado el café?**

---

---

---

**¿Qué cantidad de agua se usa durante el proceso de lavado de café?**

---

---

---

**¿Cuántas personas es necesario para el proceso lavar el café?**

---

---

---

**¿Dónde se vierten los residuos del proceso de lavado de café?**

---

---

---

**¿Qué le parecería la idea de un sistema de lavado de café automatizado?**

---

---

---

**Recomendaciones:**

---

---

---

**Huancayo 15 de abril 2022**



## Anexo 12. Plano

