

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

Escuela Académico Profesional de Ingeniería Mecánica

Tesis

**Diseño y prototipado de una máquina lavadora  
hidrodinámica post cosecha de espinacas para  
el distrito de La Unión Leticia - Tarma**

Jeferson Kevin Ormeño Jancachagua

Para optar el Título Profesional de  
Ingeniero Mecánico

Huancayo, 2023

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** : 22 de noviembre de 2023

---

Con sumo agrado me dirijo a vuestro despacho para saludarlo y en vista de haber sido designado asesor de la tesis titulada: "**DISEÑO Y PROTOTIPADO DE UNA MÁQUINA LAVADORA HIDRODINÁMICA POST COSECHA DE ESPINACAS PARA EL DISTRITO DE LA UNIÓN LETICIA - TARMA**", perteneciente al/la/los/las estudiante(s) **Jeferson Kevin ORMEÑO JANCACHAGUA** 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: ) 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,



---

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

## **DECLARACIÓN JURADA DE AUTENTICIDAD**

Yo, Jeferson Kevin Ormeño Jancachagua, identificado(a) con Documento Nacional de Identidad No. 70206461, 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 prototipado de una máquina lavadora hidrodinámica post cosecha de espinacas para el distrito de La Unión Leticia - Tarma", 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.

21 de noviembre de 2023.



---

Jeferson Kevin Ormeño Jancachagua

DNI. No. 70206461

# DISEÑO Y PROTOTIPADO DE UNA MÁQUINA LAVADORA HIDRODINÁMICA POST COSECHA DE ESPINACAS

## INFORME DE ORIGINALIDAD

<b>16%</b>	<b>16%</b>	<b>%</b>	<b>7%</b>
INDICE DE SIMILITUD	FUENTES DE INTERNET	PUBLICACIONES	TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

## FUENTES PRIMARIAS

<b>1</b>	<b>qdoc.tips</b> Fuente de Internet	<b>2%</b>
<b>2</b>	<b>hdl.handle.net</b> Fuente de Internet	<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>Submitted to Universidad Continental</b> Trabajo del estudiante	<b>1%</b>
<b>6</b>	<b>pt.slideshare.net</b> Fuente de Internet	<b>1%</b>
<b>7</b>	<b>repositorio.lamolina.edu.pe</b> Fuente de Internet	<b>1%</b>
<b>8</b>	<b>tesis.usat.edu.pe</b> Fuente de Internet	<b>&lt;1%</b>
<b>9</b>	<b>repositorio.untels.edu.pe</b> Fuente de Internet	

		<1 %
10	<a href="https://upc.aws.openrepository.com">upc.aws.openrepository.com</a> Fuente de Internet	<1 %
11	<a href="https://ribuni.uni.edu.ni">ribuni.uni.edu.ni</a> Fuente de Internet	<1 %
12	<a href="https://rpp.pe">rpp.pe</a> Fuente de Internet	<1 %
13	<a href="https://www.coursehero.com">www.coursehero.com</a> Fuente de Internet	<1 %
14	<a href="https://www.slideshare.net">www.slideshare.net</a> Fuente de Internet	<1 %
15	<a href="https://www.clubensayos.com">www.clubensayos.com</a> Fuente de Internet	<1 %
16	Submitted to Universidad Nacional de Colombia Trabajo del estudiante	<1 %
17	<a href="https://archive.org">archive.org</a> Fuente de Internet	<1 %
18	<a href="https://repositorio.unc.edu.pe">repositorio.unc.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1 %
19	<a href="https://repositorio.utesup.edu.pe">repositorio.utesup.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1 %
20	<a href="https://www.travimus.com">www.travimus.com</a> Fuente de Internet	

		<1 %
21	<a href="http://1library.co">1library.co</a> Fuente de Internet	<1 %
22	<a href="http://repositorio.unp.edu.pe">repositorio.unp.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1 %
23	<a href="http://studylib.es">studylib.es</a> Fuente de Internet	<1 %
24	<a href="http://prezi.com">prezi.com</a> Fuente de Internet	<1 %
25	Submitted to Universidad Internacional de la Rioja Trabajo del estudiante	<1 %
26	<a href="http://epage.pub">epage.pub</a> Fuente de Internet	<1 %
27	<a href="http://www.rednetnews.com">www.rednetnews.com</a> Fuente de Internet	<1 %
28	<a href="http://dspace.unitru.edu.pe">dspace.unitru.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1 %
29	<a href="http://es.slideshare.net">es.slideshare.net</a> Fuente de Internet	<1 %
30	<a href="http://www.consumerreports.org">www.consumerreports.org</a> Fuente de Internet	<1 %
31	<a href="http://repository.uamerica.edu.co">repository.uamerica.edu.co</a> Fuente de Internet	

		<1 %
32	Submitted to Universidad Industrial de Santander UIS Trabajo del estudiante	<1 %
33	Submitted to Universidad de Las Palmas de Gran Canaria Trabajo del estudiante	<1 %
34	catalog.libraries.psu.edu Fuente de Internet	<1 %
35	repositorio.upt.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
36	www.ptolomeo.unam.mx:8080 Fuente de Internet	<1 %
37	Submitted to Universidad de Santiago de Chile Trabajo del estudiante	<1 %
38	core.ac.uk Fuente de Internet	<1 %
39	pdfcookie.com Fuente de Internet	<1 %
40	repositorio.unac.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
41	es.scribd.com Fuente de Internet	<1 %



42	<a href="https://repositorio.uns.edu.pe">repositorio.uns.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1 %
43	<a href="http://www.buenastareas.com">www.buenastareas.com</a> Fuente de Internet	<1 %
44	Submitted to Universidad Católica Sedes Sapientiae Trabajo del estudiante	<1 %
45	<a href="http://docplayer.es">docplayer.es</a> Fuente de Internet	<1 %
46	<a href="https://repositorio.undac.edu.pe">repositorio.undac.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1 %
47	<a href="https://repositorio.upao.edu.pe">repositorio.upao.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1 %
48	<a href="http://upo.es">upo.es</a> Fuente de Internet	<1 %
49	<a href="http://www.psicologiacientifica.com">www.psicologiacientifica.com</a> Fuente de Internet	<1 %
50	<a href="http://www.terminalaire.com">www.terminalaire.com</a> Fuente de Internet	<1 %
51	<a href="http://www.unodc.org">www.unodc.org</a> Fuente de Internet	<1 %
52	<a href="https://repositorio.uncp.edu.pe">repositorio.uncp.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1 %
53	<a href="https://repositorio.upagu.edu.pe">repositorio.upagu.edu.pe</a>	

Fuente de Internet

<1 %

54

[www.bvs-vet.org.br](http://www.bvs-vet.org.br)

Fuente de Internet

<1 %

55

[www.directoalpaladar.com](http://www.directoalpaladar.com)

Fuente de Internet

<1 %

56

[www.sep.gob.mx](http://www.sep.gob.mx)

Fuente de Internet

<1 %

57

[es.hbbaoshihose.com](http://es.hbbaoshihose.com)

Fuente de Internet

<1 %

58

[goadmin.ifrc.org](http://goadmin.ifrc.org)

Fuente de Internet

<1 %

59

[mejoralaempresa.blogspot.com](http://mejoralaempresa.blogspot.com)

Fuente de Internet

<1 %

60

[www.coneau.gov.ar](http://www.coneau.gov.ar)

Fuente de Internet

<1 %

61

[www.mef.gob.pe](http://www.mef.gob.pe)

Fuente de Internet

<1 %

62

[www.mundogym.com.ar](http://www.mundogym.com.ar)

Fuente de Internet

<1 %

63

[www.oge.sld.pe](http://www.oge.sld.pe)

Fuente de Internet

<1 %

64

[www.repositorio.usac.edu.gt](http://www.repositorio.usac.edu.gt)

Fuente de Internet

<1 %

65

idoc.pub  
Fuente de Internet

<1 %

---

Excluir citas      Apagado  
Excluir bibliografía      Activo

Excluir coincidencias      Apagado

**Ma. Rafael De la Cruz Casaño**  
**ASESOR**

## **Agradecimientos**

Gracias a Dios.

A mis padres, Aníbal y Victoria, quienes fueron el soporte e impulso para esforzarme cada día. Sus historias de vida son claro ejemplo de superación y perseverancia.

A mis hermanas, Diana y Melissa, por el cariño y el ejemplo que me brindaron a través de sus experiencias.

A Heydi, por el tiempo compartido, por su valentía al enseñarme que la distancia no es el final del viaje, sino más bien, un nuevo camino por recorrer y aprender, que las despedidas pueden ser tristes, pero no más que la alegría del retorno. Por devolver esperanzas en aquel mundo quimérico.

A mi amigo de infancia, Juan, por aquellas horas de entretenimiento que definitivamente hicieron más fácil la adaptación a mi nueva etapa.

A mis tíos, Elena y Carlos, quienes altruistamente me brindaron un espacio para vivir mi etapa universitaria.

A cada uno de los docentes quienes me guiaron a través del conocimiento y sembraron en mí la semilla de la investigación. Especialmente a mi asesor, Mag. Ing. Rafael Casaño, por su orientación en la elaboración de esta tesis.

A la prestigiosa casa de estudio, Universidad Continental, cuyas paredes, pasadizos y aulas me acogieron durante el proceso y fueron testigos de cada pensamiento, duda, derrota y, por supuesto, cada victoria.

A todos quienes en su momento me inspiraron y regalaron consejos.

Gracias hasta el cielo Avelina, Pascual, Raúl.

## **Dedicatoria**

A mi familia, quienes forjaron mi camino e inspiraron mi superación, ustedes que suponen las bases de mi desarrollo. A quienes me formaron con reglas y libertades, soy el resultado de cada una de vuestras acciones.

Por y para ustedes, papá y mamá.

## Índice de Contenido

Agradecimientos .....	xii
Dedicatoria.....	xiii
Índice de Contenido .....	xiv
Índice de Figuras.....	xviii
Índice de Tablas .....	xx
Resumen.....	xxi
Abstract.....	xxii
Introducción .....	xxiii
Capítulo I .....	26
Planteamiento del Estudio.....	26
1.1 Planteamiento y Formulación del Problema .....	26
1.1.1 Problema General.....	28
1.1.2 Problemas Específicos. ....	28
1.2 Objetivos .....	29
1.2.1 Objetivo General.....	29
1.2.2 Objetivos Específicos.....	29
1.3 Justificación e Importancia .....	29
1.3.1 Justificación Teórica. ....	29
1.3.2 Justificación Práctica.....	29
1.3.3 Justificación Metodológica. ....	30
1.3.4 Justificación Ambiental.....	30
Capítulo II.....	31
Marco Teórico.....	31
2.1 Antecedentes del Problema .....	31
2.1.1 Antecedentes Nacionales. ....	31
2.1.2 Antecedentes Internacionales.....	32
2.2 Bases Teóricas.....	34
2.2.1 La Espinaca.....	34
2.2.1.1 Características. ....	36
2.2.2 Tipos de Lavado.....	36
2.2.2.1 Lavado Artesanal. ....	37
2.2.2.2 Lavado por Chorro.....	37
2.2.3 Mecanismos y Máquinas.....	37
2.2.4 Bandas Transportadoras.....	38

2.2.5	Régimen Laminar y Turbulento.....	38
a)	Flujo Laminar.....	40
b)	Flujo Turbulento. ....	40
2.2.6	Tipos de Bombas.....	40
2.2.6.1	Clasificación de Bombas.....	40
2.2.6.2	Turbobombas. ....	41
2.2.7	Bombas Centrifugas.....	42
2.2.8	Funcionamiento de la Bomba Centrifuga. ....	43
2.2.9	Propiedades de los fluidos.....	43
a)	Líquido.....	43
b)	Gases.....	44
2.2.10	Definición de Caudal. ....	44
2.2.11	Viscosidad.....	44
2.2.12	Ecuación de <i>Colebrook – White</i> .....	45
2.2.13	Diagrama de Moody. ....	45
2.2.14	Pérdida de carga total (general). ....	46
2.2.14.1	Pérdidas Menores.....	46
2.2.15	La Ecuación de Bernoulli.....	46
2.2.16	Norma Básica de Ergonomía y Procedimiento de Evaluación de Riesgo Disergonómico.....	47
2.2.17	Protección y Medidas Protectoras Complementarias Según ISO 12100. ....	48
2.3	Definición de Términos Básicos .....	48
2.3.1.	Hidrodinámica.....	48
2.3.2.	Prototipo.....	48
2.3.3.	Máquina. ....	48
2.3.4.	Flujo Turbulento. ....	48
2.3.5.	Faja Transportadora. ....	49
Capítulo III	.....	50
Metodología	.....	50
3.1	Tipo de Investigación.....	50
3.2	Metodología Aplicada para el Desarrollo de la Solución.....	50
3.2.1	Planificación. ....	51
3.2.1.1	Planteamiento del Problema.....	51
3.2.1.2	Estado del Arte.....	52
3.2.1.3	Análisis Crítico. ....	52
3.2.1.4	Lista de Exigencias. ....	52



3.2.2	Definición.....	53
3.2.2.1	Caja Negra.....	53
3.2.2.2	Secuencia de Operaciones o Sistemas Técnicos.....	53
3.2.2.3	Descripción de Funciones.....	53
3.2.2.4	Estructura de Funciones.....	54
3.2.2.5	Matriz Morfológica.....	54
3.2.2.6	Evaluación.....	55
3.2.2.7	Bosquejo del Diseño Ideal.....	55
3.2.3	Desarrollo.....	55
3.2.4	Construcción.....	55
3.2.5	Evaluación.....	56
3.2.6	Documentación.....	56
Capítulo IV.....		57
Análisis y Diseño de la Solución.....		57
4.1	Identificación de Requerimientos.....	57
4.1.1	Planificación.....	57
4.1.1.1	Planteamiento del Problema.....	57
4.1.1.2	Estado del Arte.....	57
4.1.1.3	Análisis Crítico.....	58
4.1.1.4	Lista de Exigencias.....	64
4.2	Análisis de la Solución.....	65
4.2.1	Definición.....	65
4.2.1.1	Caja Negra.....	65
4.2.1.2	Secuencia de Operación o Sistemas Técnicos.....	66
4.2.1.3	Descripción de Funciones.....	66
4.2.1.4	Estructura de Funciones.....	67
4.2.1.5	Matriz Morfológica.....	68
4.2.1.6	Evaluación.....	68
4.2.1.7	Descripción de la Alternativa Ideal.....	69
4.2.1.8	Bosquejo de Diseño Ideal.....	69
4.3	Diseño.....	69
4.3.1	Desarrollo.....	69
4.3.1.1	Determinación de la Capacidad en Masa.....	69
4.3.1.2	Determinación del Ángulo Máximo para Faja de Salida.....	71
4.3.1.3	Determinación de Velocidad y Potencia Necesaria para Faja Transportadora.....	72

4.3.1.4	Determinación de la Potencia de la Bomba. ....	76
4.3.1.5	Diseño del Circuito Eléctrico. ....	90
4.3.1.6	Planos. ....	93
4.3.1.7	Lista de Materiales. ....	94
Capítulo V	.....	95
Construcción	.....	95
5.1	Construcción del Prototipo. ....	95
5.1.1	Construcción. ....	95
5.1.1.1	Exigencias para la Construcción del Prototipo. ....	96
5.1.1.2	Diagrama de Flujo de Proceso de Fabricación. ....	96
5.2	Pruebas y Resultados. ....	98
5.2.1.	Evaluación. ....	100
5.2.1.1.	Análisis Estructural del Bastidor FEA. ....	100
5.2.2.	Documentación. ....	103
5.2.2.1.	Características Generales. ....	103
5.2.2.2.	Funcionamiento del Prototipo. ....	103
5.2.2.3.	Operación del Prototipo. ....	103
5.2.2.4.	Mantenimiento. ....	104
5.2.2.5.	Costos de Fabricación. ....	105
Conclusiones	.....	108
Trabajos Futuros	.....	109
Lista de Referencias	.....	110
Anexos	.....	112

## Índice de Figuras

Figura 1. Agricultor aplicando método artesanal para el lavado de jabas de espinacas.....	27
Figura 2. Proceso poscosecha de lavado y estiba de espinacas.....	28
Figura 3. Proceso poscosecha de lavado por inmersión de espinacas.....	28
Figura 4. Esquematación 3D de máquina automatizada para el lavado de zanahorias. Tomada de Barreto y Custodio (6).....	31
Figura 5. Plano neumático de mecanismo de cierre de compuertas .....	32
Figura 6. Faja lavadora por principio de presión de agua .....	32
Figura 7. Proceso de eliminación de contaminantes por microburbujas de ozono .....	33
Figura 8. Comparación de resultados en daño a espárragos después de pasar por máquina lavadora Tomada de Bruckner et al. (10).....	33
Figura 9. Simulación de chorro de aire con diámetro de tubería inyector 8 mm y espaciado entre inyectores de 50 mm .....	34
Figura 10. Experimento de Reynolds. El tránsito de corriente laminar a turbulenta tiene lugar aproximadamente a $R = 2000$ .....	38
Figura 11. Tipos de bombas.....	41
Figura 12. Flujo del líquido según la forma de rodete .....	42
Figura 13. Recorrido del fluido en una bomba centrífuga .....	42
Figura 14. Partes de una bomba centrífuga.....	43
Figura 15. Metodología propuesta para el desarrollo de la investigación con base en la norma VDI 2221 y Ullman .....	51
Figura 16. Esquema de caja negra .....	53
Figura 17. Máquina lavadora por inmersión.....	58
Figura 18. Lavadora de vegetales 10064 .....	58
Figura 19. Diagrama circular sobre tamaño de terreno utilizado para sembrío de espinacas. .	59
Figura 20. Diagrama circular sobre cuantas veces al año cosecha espinacas .....	59
Figura 21. Diagrama circular sobre cuantas jabas de espinaca produce un tongo de sembrío	60
Figura 22. Diagrama circular sobre cantidad de kilogramos de espinaca por jaba.....	60
Figura 23. Diagrama circular sobre cantidad de jabas cosechadas y lavadas en un día.....	61
Figura 24. Gráfico circular sobre ganancia en temporadas bajas.....	61
Figura 25. Gráfico circular sobre ganancia en buenas temporadas.....	61
Figura 26. Gráfico circular de relación de lavado y precio de venta de espinacas .....	62
Figura 27. Gráfico de barras de técnicas de lavado de espinaca utilizadas.....	62
Figura 28. Gráfico de barras de enfermedades ocasionadas por el lavado de espinacas .....	63
Figura 29. Gráfico circular de conocimiento de los agricultores sobre la existencia de máquinas lavadoras de espinacas.....	63
Figura 30. Gráfico circular sobre aceptación de implementación de una máquina lavadora...	64
Figura 31. Gráfico circular de percepción de los agricultores sobre la relación de la máquina lavadora y generación de desempleo .....	64
Figura 32. Caja negra desarrollada .....	66
Figura 33. Secuencia de operación .....	66
Figura 34. Estructura de funciones o caja blanca.....	67
Figura 35. Bosquejo del diseño ideal de prototipo de lavadora de espinacas .....	69
Figura 36. Escenario óptimo para ángulo de inclinación.....	71
Figura 37. Determinación del ángulo de inclinación .....	72

Figura 38. Diagrama de análisis de la ecuación de Bernoulli en el sistema de lavadora de espinacas .....	85
Figura 39. Rangos de operación 60Hz/3600 rpm .....	86
Figura 40. Rangos de operación 60 Hz/1800 rpm .....	86
Figura 41. Curva de performance 32-125 / 3430 rpm.....	87
Figura 42. Curva de performance 50-200 / 1740 rpm.....	88
Figura 43. Circuito de mando - bomba .....	91
Figura 44. Circuito de mando – faja .....	92
Figura 45. Circuito de potencia – bomba.....	93
Figura 46. Circuito de potencia – faja.....	93
Figura 47. Diagrama de flujo de proceso de fabricación .....	96
Figura 48. Plegado tina de lavado.....	96
Figura 49. Soldeo tina de lavado.....	97
Figura 50. Montaje tina de lavado – bastidor.....	97
Figura 51. Fabricación tanque de almacenamiento.....	97
Figura 52. Ensamble faja de descarga.....	97
Figura 53. Ensamble circuito de control .....	98
Figura 54. Prueba de funcionamiento .....	98
Figura 55. Inspección de lavado de espinacas .....	98
Figura 56. Inspección de ingreso de espinacas .....	99
Figura 57. Zaranda de filtrado de residuos .....	99
Figura 58. Producto final .....	100
Figura 59. Bastidor del prototipo de lavadora de espinacas.....	100
Figura 60. Cargas aplicadas en el bastidor.....	101
Figura 61. Tensión máxima y mínima – bastidor .....	101
Figura 62. Desplazamiento máximo y mínimo – bastidor .....	102
Figura 63. Factor se seguridad – bastidor .....	102

## Índice de Tablas

Tabla 1. Producción de productos agrícolas, 2011 - 2017 .....	35
Tabla 2. Producción de hortalizas, según departamento, 2017 .....	36
Tabla 3. Características de las espinacas en La Unión Leticia, Tarma .....	36
Tabla 4. Formato lista de exigencias LE.....	53
Tabla 5. Formato matriz morfológica LE .....	54
Tabla 6. Formato matriz de Pugh.....	55
Tabla 7. Guía de observación desarrollada .....	59
Tabla 8. Lista de exigencias .....	65
Tabla 9. Matriz morfológica desarrollada.....	68
Tabla 10. Matriz de Pugh desarrollada .....	69
Tabla 11. Densidad del agua a distintas temperaturas .....	77
Tabla 12. Rugosidad absoluta .....	80
Tabla 13. Iteraciones para coeficiente de fricción tramo succión .....	80
Tabla 14. Accesorios para el tramo de succión.....	81
Tabla 15. Iteraciones para coeficiente de fricción tramo de descarga .....	83
Tabla 16. Accesorios para el tramo descarga.....	84
Tabla 17. Características de bomba 32-125/3430 rpm.....	87
Tabla 18. Características de bomba 50-200/1740 rpm.....	88
Tabla 19. Elemento del circuito de potencia-mando de la bomba .....	90
Tabla 20. Lista de materiales .....	94
Tabla 21. Exigencias para la construcción de la lavadora de espinacas .....	96
Tabla 22. Lista de mantenimiento general .....	105
Tabla 23. Costos de fabricación.....	106
Tabla 24. Precio de venta.....	106
Tabla 25. Comparación de precios de venta internacionales .....	107

## Resumen

La presente investigación tecnológica tiene como objetivo principal el diseño y prototipado de una máquina lavadora hidrodinámica poscosecha de espinacas para el distrito de la Unión Leticia, provincia de Tarma, que permitirá mejorar la calidad de lavado y disminuir el riesgo de los agricultores a contraer enfermedades respiratorias por exposición a corrientes de aire y agua a bajas temperaturas.

La máquina de lavado de espinacas utiliza el principio hidrodinámico para su funcionamiento, ya que dicho principio permite retirar de las superficies de las hojas los residuos de tierra y otros contaminantes, evitando maltratar las hojas debido a que disminuiría la calidad del producto y en su defecto reducirían su valor en el mercado.

La metodología desarrollada en esta investigación es una adaptación desde las metodologías de diseño presentadas por Ullman y la norma alemana VDI 2221.

Se realizaron simulaciones en software CAD para el diseño del prototipo, encontrando factores de seguridad superiores a 2, así mismo, se logró el diseño del prototipo de lavadora de una máquina lavadora hidrodinámica poscosecha de espinacas. Se calculó una potencia teórica de la bomba de 2.51 HP y se seleccionó una bomba Hidrostal de 3.2 HP según catálogo. Finalmente, se concluyó que la investigación establece los lineamientos para una posterior investigación de diseño de máquina enfocada directamente a la productividad del distrito de Unión Leticia, provincia de Tarma.

**Palabras claves:** espinaca, hidrodinámica, lavadora, prototipo

## **Abstract**

The main objective of this technological research was the design and prototyping of a post-harvest hydrodynamic washing machine for spinach for the district of Unión Leticia, province of Tarma, which will improve the quality of washing and reduce the risk of farmers to contract respiratory diseases from exposure to currents of air and water at low temperatures.

The spinach washing machine uses the hydrodynamic principle for its operation, since this principle allows removing soil residues and other contaminants from the surfaces of the leaves, avoiding mistreating the leaves because it would decrease the quality of the product and, failing that, it would reduce its market value.

The methodology developed in this research is an adaptation from the design methodologies presented by Ullman and the German standard VDI 2221.

Simulations were conducted in CAD software for the design of the prototype, finding safety factors greater than 2. Likewise, the design of the washing machine prototype of a post-harvest spinach hydrodynamic washing machine was achieved. A theoretical pump power of 2.51 HP was calculated, and a 3.2 HP Hidrostral pump was selected according to the catalog. Finally, it is concluded that the research establishes the guidelines for a subsequent machine design investigation focused directly on the productivity of the Unión Leticia district, province of Tarma.

**Keywords:** hydrodynamics, prototype, spinach, washer

## **Introducción**

Las espinacas son hortalizas con una gran demanda debido a su contenido en nutrientes que benefician a la salud de las personas.

En el distrito de La Unión Leticia, las hortalizas, en especial la espinaca, estos últimos años se ha establecido en la cumbre de la producción agrícola debido a su alta demanda en el mercado, por ello los agricultores dedican gran cantidad de sus terrenos para su sembrío.

Debido a que el proceso de cosecha de las espinacas es una actividad que dura entre 10 y 12 horas el proceso poscosecha se suele realizar en horas de la tarde y noche, por tal razón, obliga al agricultor a exponerse a corrientes de agua con temperaturas bajas, trayendo también demanda de tiempo excesiva.

El principal objetivo de la investigación es diseñar y prototipar una máquina lavadora hidrodinámica poscosecha de espinacas para el distrito de La Unión Leticia y como objetivos específicos se tienen: diseñar una máquina lavadora hidrodinámica poscosecha de espinacas, fabricar el prototipo de una máquina lavadora hidrodinámica poscosecha de espinacas, probar y validar el funcionamiento del prototipo de la máquina lavadora hidrodinámica poscosecha de espinacas para el distrito de La Unión Leticia, Tarma.

La búsqueda de los objetivos mencionados se desarrolla a través de la aplicación de la adaptación desde las metodologías planteadas por la norma alemana VDI 2221 y Ullman, para ajustarse a la realidad y contexto de países en crecimiento.

En el capítulo 1 se plantea y formula el problema que atraviesan los agricultores del distrito de La Unión Leticia, provincia de Tarma, debido a la aplicación de método artesanal para el lavado poscosecha de espinacas, método que presenta deficiencias en la calidad de lavado y exposición de los agricultores a enfermedades respiratorias y dermatológicas.

Por tal razón, el problema general planteado en la investigación es ¿Cómo diseñar y prototipar una máquina lavadora hidrodinámica poscosecha de espinacas para el distrito de La Unión Leticia, Tarma? Y como respuesta a esta pregunta y objetivo general se tiene el diseñar y prototipar una máquina lavadora hidrodinámica poscosecha de espinacas para el distrito de La Unión Leticia.



La investigación se justifica en la importancia que tiene debido a que cubrirá las necesidades de los agricultores en el distrito de La Unión Leticia, reemplazando el método aplicado en la actualidad por un proceso tecnificado. Así mismo, el desarrollo de esta investigación permite generar conocimiento que podrá ser utilizado como lineamientos o puntos de partida para futuras investigaciones en diseño de máquinas u otros campos de aplicación.

En el capítulo 2 se desarrollan los antecedentes del problema, donde se identificaron investigaciones realizadas con anterioridad para mostrar datos o métodos que servirían para mejorar el producto de esta investigación, también se detallan las bases teóricas, describiendo las características de las espinacas, productividad, tipos de lavado, definiciones de mecanismos y máquinas, régimen laminar y turbulento, tipos de bombas, turbobombas, bomba centrífuga y su funcionamiento, propiedades de fluidos, caudal, viscosidad, ecuación de *Colebrook – White*, diagrama *Moody*, pérdidas de carga, ecuación de Bernoulli, norma básica de ergonomía, medidas protectoras según EN ISO 12100 y, finalmente, la definición de términos básicos.

En el capítulo 3 se explica la metodología adaptada desde Ullman y VDI 2221 a desarrollar, metodología que incluye 6 etapas las cuales son la planificación, etapa que comprende el problema, define estado del arte y realiza el análisis crítico, para finalmente entregar una lista de exigencias. La segunda etapa es la definición, donde se define, califica y especifica el desarrollo conceptual del prototipo, aplicando la caja negra, secuencia de operaciones, descripción de funciones, estructura de funciones y matriz morfológica. La tercera etapa es el desarrollo, se presentan los cálculos analíticos y los planos de construcción. La cuarta etapa es la construcción, en esta etapa se detallan las exigencias y el proceso de fabricación del prototipo. Como penúltima etapa se tiene la evaluación, donde se realizan simulaciones, pruebas y ensayos de funcionamiento para validar el prototipo diseñado. Finalmente, la etapa de documentación presenta el manual de operación y mantenimiento, planos y costos de fabricación.

El capítulo 4 presenta el desarrollo detallado de la metodología planteada en el capítulo 3, obteniendo como resultado los entregables de acuerdo con cada etapa como son la lista de exigencias, estructura de funciones, planos de construcción.

En el capítulo 5 se describen las exigencias y el proceso de construcción del prototipo, así mismo, incluye pruebas y resultados, obteniendo como entregable el prototipo, evidencias y el manual de operación.

Finalmente, se presentan los resultados obtenidos, que indican que se logró diseñar y prototipar una máquina lavadora hidrodinámica poscosecha de espinacas para el distrito de La Unión Leticia, desarrollando en su totalidad los objetivos planteados en la investigación.

## **Capítulo I**

### **Planteamiento del Estudio**

#### **1.1 Planteamiento y Formulación del Problema**

Uno de los alimentos que más nutrientes y ventajas aporta a la salud de las personas, son los vegetales de hojas verdes, pues ofrecen altos beneficios para la salud, debido a los altos contenidos de vitaminas, siendo el caso de las espinacas quienes son una fuente excelente de ácido fólico y fibra, vitaminas A, C, K, B<sub>2</sub>, minerales como magnesio, manganeso, hierro (1).

Estas vitaminas poseen efectos regenerativos, que ayudan a la recuperación de cicatrices, así mismo, presenta propiedades antibacterianas y antiinflamatorias que reparan los desgastes de mucosa y piel, incrementan la formación de colágeno y refuerzan el sistema inmunológico (2).

Por tal razón, su venta se ha incrementado en los últimos años, según una publicación del diario Correo, “Junín en primer lugar como productor de granos verdes”, Junín representa la segunda mayor producción nacional, después de Lima provincias en producción de espinacas, pues tiene una operación de 43.7 % en el mercado nacional con producción de 10 887 TM, al 21 de abril del 2013 (3).

Sin embargo, existe una preocupación a la hora de consumirlas, ya que son una de las principales fuentes de bacterias que causan intoxicación alimentaria como lo muestra una investigación de *Consumer Reports*, donde se evidenció que la causa del mayor brote nacional de *E. Coli* 0157:H7 en más de 20 años fue ocasionada por el consumo de lechuga romana contaminada (4).

Por ello, el procedimiento poscosecha, especialmente el lavado de las espinacas debe garantizar una buena calidad de limpieza.

Lo que no sucede en el distrito de La Unión Leticia, ya que los agricultores aplican el método que consiste en el lavado por inmersión de jabas embaldadas de espinacas en posas artesanales, comúnmente llamados lavaderos. Si bien en su esmero por elevar la calidad de sus productos, agregan un método de zarandeo al proceso de lavado, este es deficiente, ya que al estar embaldados los residuos de tierra o desperdicios alojados en el punto medio de las jabas serán de difícil acceso y un simple zarandeo no logrará eliminar los contaminantes en su totalidad.



*Figura 1. Agricultor aplicando método artesanal para el lavado de jabas de espinacas*

Así mismo, el procedimiento de lavado artesanal expone a los agricultores a corrientes de agua fría en horas de la tarde y noche, debido a que el proceso de cosecha puede durar hasta 12 horas dependiendo de las extensiones de terreno.



*Figura 2. Proceso poscosecha de lavado y estiba de espinacas*

A partir de un estudio publicado, «se demostró que el enfriamiento de los pies se asocia en el desarrollo de infecciones respiratorias. Es importante destacar que el enfriamiento por aire frío o agua fría no es lo mismo, al sumergirse en agua nos enfriamos de 2 a 5 veces más que con la exposición al aire a la misma temperatura, debido a que el agua presenta 25 veces mayor conductividad térmica que la del aire» (5).



*Figura 3. Proceso poscosecha de lavado por inmersión de espinacas*

Por ello la presente investigación se plantea las siguientes preguntas:

### **1.1.1 Problema General.**

- ¿Cómo diseñar y prototipar una máquina lavadora hidrodinámica poscosecha de espinacas para el distrito de La Unión Leticia, Tarma?

### **1.1.2 Problemas Específicos.**

- ¿Cómo diseñar una máquina lavadora hidrodinámica poscosecha de espinacas?
- ¿Cómo fabricar el prototipo de una máquina lavadora hidrodinámica poscosecha de espinacas?

- ¿Cómo probar y validar el funcionamiento del prototipo de la máquina lavadora hidrodinámica poscosecha de espinacas para el distrito de La Unión Leticia, Tarma?

## **1.2 Objetivos**

### **1.2.1 Objetivo General.**

- Diseñar y prototipar una máquina lavadora hidrodinámica poscosecha de espinacas para el distrito de La Unión Leticia.

### **1.2.2 Objetivos Específicos.**

- Diseñar una máquina lavadora hidrodinámica poscosecha de espinacas.
- Fabricar el prototipo de una máquina lavadora hidrodinámica poscosecha de espinacas.
- Probar y validar el funcionamiento del prototipo de la máquina lavadora hidrodinámica poscosecha de espinacas para el distrito de La Unión Leticia, Tarma.

## **1.3 Justificación e Importancia**

La investigación tecnológica del diseño y prototipado de una máquina lavadora hidrodinámica poscosecha de espinacas, cubrirá las necesidades de los agricultores del distrito de La Unión Leticia, reemplazando el método artesanal de lavado de espinacas por un proceso tecnificado, dando especial atención a la reducción de tiempo y la mejora de calidad de lavado.

### **1.3.1 Justificación Teórica.**

El desarrollo de esta investigación permite generar conocimiento que podrá ser utilizado como punto de partida o contrastación por nuevos investigadores en el diseño de máquinas, ajustándose a los nuevos requerimientos que traerá el desarrollo tecnológico.

### **1.3.2 Justificación Práctica.**

La introducción de esta máquina al proceso de poscosecha de las espinacas, permitirá a los agricultores reducir su exposición directa a corrientes de agua fría, evitando así posibles infecciones respiratorias.

Así mismo, el prototipo planteado en esta investigación tecnológica estará al alcance económico de los agricultores del distrito de La Unión Leticia, ya que si bien existen máquinas de lavado para hortalizas y otros productos, estas están enfocadas a una producción de nivel industrial y sociedades desarrolladas, con costos de adquisición y operación elevados.

Además, la máquina lavadora permitirá elevar el costo de las espinacas en el mercado, debido a que tiene una relación directamente proporcional con la calidad de lavado.

### **1.3.3 Justificación Metodológica.**

Debido a que las metodologías actuales de diseño de máquinas han ido evolucionando con base en países industrializados y, por ello, tanto fases como metodologías enteras no son apropiadas para el diseño de máquinas en contextos que no sean sociedades desarrolladas.

La presente investigación tomará como base y estructurará a partir de ello una adaptación desde las propuestas de metodología de diseño VDI 2221 y Ullman.

### **1.3.4 Justificación Ambiental.**

Actualmente, los agricultores de La Unión Leticia utilizan agua corriente de los canales que suministran al lavadero artesanal, este luego de cumplir su función como agente de limpieza es desfogado directamente al mismo canal, el cual es utilizado para regadío en parcelas aguas abajo, contaminándolas con desechos orgánicos e incluso no orgánicos producto de los elementos utilizados en el sembrío de espinacas. Por ello, esta investigación contará con un sistema de filtrado de agua para la recirculación y aprovechar al máximo este recurso.

Del mismo modo, al incluir este sistema de filtrado se direcciona a la búsqueda de innovaciones tecnológicas en posteriores investigaciones, que permitan reducir aún más el impacto ambiental generado en el agua producto del sistema de lavado. Todo ello favorece el compromiso relacionado al objetivo 6 “agua limpia y sostenible” de los objetivos de desarrollo sostenible, agenda 2030.

## Capítulo II

### Marco Teórico

#### 2.1 Antecedentes del Problema

##### 2.1.1 Antecedentes Nacionales.

Según, Barreto y Custodio (6) en su tesis “Diseño de una máquina automatizada, para el lavado de zanahoria, en el centro poblado menor de Callanca, distrito de Monsefú, departamento de Lambayeque”, donde se diseñó una máquina de lavado de zanahorias, considerando matriz morfológica para determinar la solución, determinación de capacidad de máquina, determinación de fuerza de fregado, llegó a la conclusión que “la fuerza de fregado óptima para el tipo de vegetal es de 49N”.

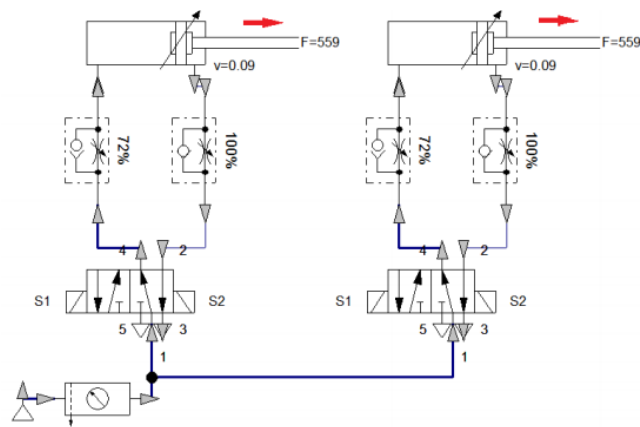


*Figura 4. Esquematización 3D de máquina automatizada para el lavado de zanahorias. Tomada de Barreto y Custodio (6)*

Según Requena (7), en su tesis “Diseño de un sistema de automatización de una planta de lavado de zanahoria de 10 t/h” donde empleó un sistema electroneumático y control con PLC, así mismo, comprobó “el correcto



funcionamiento automático del sistema de lavado que incluye los procesos de remojo, lavado y direccionamiento a la zona de tendal”.



**Figura 5. Plano neumático de mecanismo de cierre de compuertas  
Tomada de Requena (7)**

La empresa peruana Fischer Agro (8) fundada en julio de 1993, dedicada a la aplicación del diseño y tecnología alemana brindando equipos de alta calidad, presenta como uno de sus productos a la “Faja lavadora”, máquina de lavado a presión de diversas frutas y vegetales, con mecanismo de sistema continuo.

Entre las características principales de la máquina se encuentra el material de fabricación de acero inoxidable calidad AISI – 304 y componentes resistentes al desgaste (8).

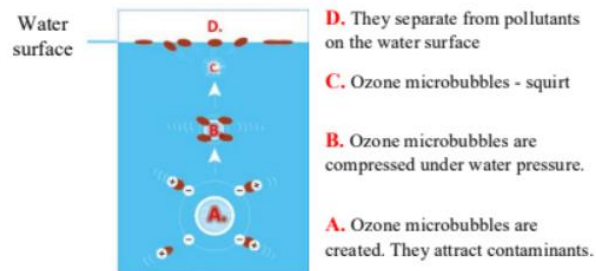


**Figura 6. Faja lavadora por principio de presión de agua  
Tomada de Fischer Agro (8)**

### 2.1.2 Antecedentes Internacionales.

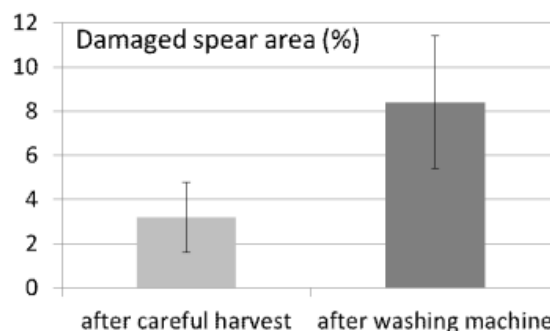
Según Hong et al. (9), en el artículo científico “A study on application of ultrasonic wave and ozone micro-bubbles in leafy vegetables washing”. Donde se realizó el diseño de una lavadora de vegetales integrada con energía ultrasónica y microburbujas de ozono para eliminar los abundantes productos químicos protectores

que se adhieren a las superficies de las verduras de hoja, para cuatro tipos de verduras, que incluyen, ensalada, espinaca de agua, col china, hojas de mostaza. Llegando a los resultados que el método que utiliza energía ultrasónica y microburbujas de ozono tienen efectos importantes en la erradicación de productos químicos protectores en las verduras de hoja.



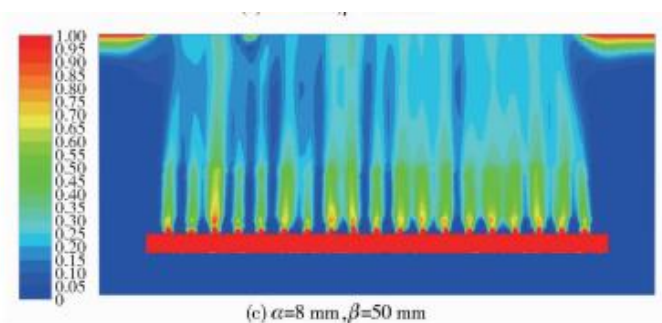
**Figura 7. Proceso de eliminación de contaminantes por microburbujas de ozono**  
Tomada de Hong et al. (9)

Según Bruckner et al. (10), en el artículo científico “Critical points during handling of White asparagus”. Donde se analizó varios pasos como técnicas de cosecha, transporte, limpieza y clasificación de espárrago blanco. Identificando varios puntos débiles durante cada uno de los procesos, como tierra compactada, agarre demasiado firme del pulgar durante la corte, lavador mal ajustado, obteniendo como resultado daños tisulares, decoloración y desprendimiento de hedor.



**Figura 8. Comparación de resultados en daño a espárragos después de pasar por máquina lavadora**  
Tomada de Bruckner et al. (10)

Según Xuefei et al. (11), en el artículo científico “Design and experiment on washer for whole-leaf vegetables”. Donde se diseñó una lavadora de hoja entera con baño de aire y flujo de agua como poder de limpieza. Identificando parámetros óptimos como el diámetro de la tubería de chorro de aire de 8 mm de apertura y espacio entre orificios de 50 mm, llegando a la conclusión que el volumen de limpieza, el tiempo y la velocidad tienen efectos significativos en la limpieza de espinacas.



**Figura 9. Simulación de chorro de aire con diámetro de tubería inyector 8 mm y espaciado entre inyectores de 50 mm Tomada de Xuefei (11)**

## 2.2 Bases Teóricas

### 2.2.1 La Espinaca.

Nombrada en botánica como *Spinacia oleracea*, es una herbácea muy valorada por tener hojas verdes de silueta ovalada y apariencia rugosa (12).

La espinaca es cultivada por los seres humanos por más de dos milenios, presentándose por primera vez en Asia central, actual Irán, y desde donde se extendería hacia China, Palestina y Arabia (12).

Es en el siglo IX, aproximadamente, que Europa conoció la espinaca debido al desembarco de los sarracenos en las costas de Italia. Posteriormente, ya en el siglo XII, se popularizó en todo el mediterráneo árabe, y estableciendo su puerta de entrada en España, el nombre espinaca proviene del árabe *isfinaj* y también, del persa *aspanakh* (12).

La característica principal de la espinaca es su tallo central, largo y carnoso. Desde donde brotan hojas de color verde, con forma triangular (12).

La producción de espinaca en el Perú se muestra en la siguiente tabla:

**Tabla 1. Producción de productos agrícolas, 2011 - 2017**  
(Toneladas métricas)

Productos	2011	2012	2013	2014 P/	2015 P/	2016 P/	2017 P/
Kiwicha	3 016	2 752	2 506	2 357	4 836	2 725	2 692
Sorgo grano	94	125	149	417	207	168	164
Zarandaja grano seco	2 835	3 244	2 819	2 704	3 132	3 365	2 844
Frijol Lactao grano seco	195	219	18	60	281	286	68
Niña grano seco	1 150	1 200	1 557	1 677	1 831	1 426	1 238
Arracacha	22 870	22 083	23 433	24 100	22 227	21 311	21 150
Pituca	14 311	13 604	13 935	16 114	20 153	18 975	12 316
Sorgo escobero	881	670	1 014	990	502	578	295
Anís	828	669	416	279	252	258	66
Caña de Azúcar (alcohol)	961 055	953 591	949 280	931 859	917 336	826 799	753 428
Caña de Azúcar (chancaca)	4 598	3 616	3 580	2 895	2 171	1 966	2 200
Caña de Azúcar (fruta)	16 503	15 742	14 486	14 022	12 231	10 970	12 038
Caña de Azúcar (etanol)	625 993	1 237 464	1 748 338	1 454 282	1 251 925	1 225 400	965 129
Soya	2 994	2 251	2 713	2 120	1 924	1 371	1 581
Apio	30 070	25 120	27 287	28 215	28 609	31 292	31 551
Betarraga	32 272	35 183	35 223	35 708	35 363	34 292	34 687
Braquearía	1 293 046	8 344 573	8 737 377	9 003 356	8 943 557	9 848 827	10 625 739
Brócoli	34 961	37 299	43 383	48 799	54 527	55 170	52 296
Caigua	5 154	6 315	6 707	6 031	8 101	7 246	6 815
Ciruela	7 220	6 955	8 387	6 897	7 229	8 113	6 534
Coco	31 161	33 577	34 593	34 947	31 002	32 353	32 645
Col o repollo	37 114	40 045	39 773	39 265	39 572	37 795	33 171
Coliflor	20 264	18 353	21 097	17 548	19 517	19 230	17 941
Espinaca	26 679	29 373	29 776	29 882	30 018	28 535	24 493
Frijol de palo grano seco	2 802	2 986	2 876	2 866	3 276	3 055	3 133
Frijol grano verde	11 478	12 036	14 954	14 996	15 832	14 734	11 737
Gramma azul	99 989	122 882	204 970	272 774	359 729	426 638	373 943
Gramma chilena	511 549	532 694	562 462	583 254	582 479	564 914	619 804
Gramalote	674 661	638 819	664 411	648 786	615 284	634 434	621 883

*Nota. Tomada de Ministerio de Agricultura y Riego (13)*

De la tabla 1, se puede observar la tendencia creciente de producción en toneladas métricas a nivel nacional.

Del mismo modo, a continuación, se detalla la producción de hortalizas por departamento para el año 2017.

**Tabla 2. Producción de hortalizas, según departamento, 2017**

Departamento	Calabaza	Col o repollo	Coliflor	Culantro	Espinaca	Lechuga	Nabo	Orégano seco	Pallar grano verde
<b>Total</b>	<b>13 401</b>	<b>39 781</b>	<b>21 097</b>	<b>21 560</b>	<b>29 714</b>	<b>59 925</b>	<b>11 046</b>	<b>14 080</b>	<b>5 497</b>
Tumbes	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Piura	-	-	-	-	-	33	13	-	-
Lambayeque	-	3 195	-	137	-	774	-	-	-
La Libertad	12	6 970	757	1 321	587	4 817	60	-	-
Cajamarca	-	316	-	-	-	94	-	-	-
Amazonas	147	2 101	153	243	156	816	-	-	-
Áncash	-	371	109	-	160	2 028	157	-	-
Lima	-	14 627	15 372	18 059	15 227	37 550	7 534	11	4 434
Ica	-	-	-	153	130	262	158	-	1 063
Huánuco	3 547	1 407	85	-	-	218	-	-	-
Pasco	1 506	-	-	-	-	-	-	-	-
Junín	1 798	3 316	570	1 007	10 908	6 913	1 332	71	-
Huancavelica	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Arequipa	1 954	2 430	1 420	-	2 546	2 310	1 575	4 885	-
Moquegua	-	-	-	-	-	199	-	1 282	-
Tacna	-	1 095	1 004	-	-	1 658	127	7 731	-
Ayacucho	1 660	1 230	401	-	-	243	90	30	-
Apurímac	2 529	434	164	-	-	391	-	56	-
Cusco	-	1 596	1 064	-	-	1 074	-	-	-
Puno	249	16	-	-	-	31	-	15	-
San Martín	-	75	-	-	-	-	-	-	-
Loreto	-	534	-	311	-	456	-	-	-
Ucayali	-	57	-	329	-	42	-	-	-
Madre de Dios	-	12	-	-	-	15	-	-	-

*Nota. Tomada de Ministerio de Agricultura y Riego (13)*

### 2.2.1.1 Características.

Las espinacas producidas en el distrito de La Unión Leticia, provincia de Tarma tienen las siguientes características promedio.

**Tabla 3. Características de las espinacas en La Unión Leticia, Tarma**

<b>Altura de Planta</b>	0.20 - 0.40 m
<b>Forma</b>	Triangular
<b>Textura</b>	Rugosa
<b>Numero de hojas por tallo</b>	10 - 15
<b>Color</b>	Verde intenso

*Nota. Las características mostradas en la tabla 3, se toman como promedio de un conjunto de hortalizas cultivadas en el distrito de La Unión Leticia, Tarma*

### 2.2.2 Tipos de Lavado.

Para mantener el valor de venta de las espinacas en el mercado se debe evitar que sus hojas estén maltratadas, estas deben ser suaves al tacto, ofreciendo resistencia leve y no dar sensación acuosa, así mismo, se suele evaluar la intensidad del color de la hoja, sirviendo como indicador de frescura.

Por ello, el proceso poscosecha debe ser realizado con especial atención para evitar en lo posible estos daños a las hojas.

### **2.2.2.1 Lavado Artesanal.**

Este método se viene usando en el distrito de La Unión, el cual consiste en hundir las jabas de espinacas en grandes pozas de agua corriente y dejarlos por un tiempo aproximado de 10 a 15 minutos, dentro de ese periodo de tiempo el agricultor realiza un zarandeo de las jabas y cambio de posición con el objetivo de quitar los restos de entre las hojas, el proceso de lavado termina cuando se retira la jaba de la poza.

### **2.2.2.2 Lavado por Chorro.**

En este método, las espinacas pasan ordenadas hoja por hoja por una banda de transporte, el cual tiene un módulo instalado en el centro donde se encuentran válvulas que permiten la caída por rocío de agua, el proceso de lavado termina cuando las espinacas salen de la banda de transporte.

### **2.2.3 Mecanismos y Máquinas.**

El mecanismo transforma el movimiento en un patrón determinado, usualmente a fuerzas y potencias bajas. Hunt describe al mecanismo como una vía de transmisión, control o restricción del movimiento relativo. Por otro lado, una máquina, es un conjunto de mecanismos que son diseñados para producir y transmitir fuerzas considerables. Algunos ejemplos comunes de los mecanismos son: un obturador de una cámara, un reloj analógico, un sillón abatible, una lámpara ajustable para escritorio y un paraguas. Algunos ejemplos de máquinas que tienen movimientos muy similares a los mecanismos mencionados anteriormente son: la puerta de seguridad en la bóveda de un banco, el sistema de transmisión de un vehículo y un balancín de un parque de diversiones. Si bien, no hay una clara diferencia en la definición entre mecanismos y máquinas, pues estos discrepan en su grado mas no en su clase. Por ello, si las fuerzas o niveles de energía en el dispositivo son considerables, se considerará como máquina; de lo contrario, será considerado como mecanismo. Una definición apropiada del trabajo de un mecanismo es un conjunto de componentes ordenados para transmitir un movimiento predeterminado. Esta misma puede acomodarse a una definición de máquina si se adiciona la palabra energía después de movimiento (14).

Los mecanismos, si se sobrecargan y operan a velocidades bajas, se pueden tratar como dispositivos cinemáticos; es decir, se analizan cinemáticamente sin considerar las fuerzas. Por otra parte, las máquinas (y mecanismos que funcionan con velocidades y fuerzas considerables), primero deben ser tratadas como mecanismos y

posteriormente, como sistemas dinámicos en los que las fuerzas estáticas y dinámicas se analizan por medio de principios cinéticos (14).

#### 2.2.4 Bandas Transportadoras.

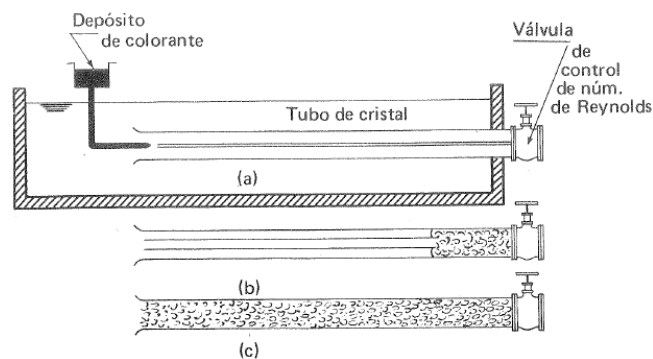
Las bandas transportadoras se han posicionado en lo alto de la industria y otros sectores debido a las ventajas que presenta en los aspectos económico, seguridad, confiabilidad, versatilidad e ilimitado rango de capacidades. También, existen tipos de bandas transportadoras especiales, las que se adaptan para transportar personas. Por ello, es posible encontrar en el mercado gran variedad de bandas transportadoras con diferentes modos de operación, principio de trabajo y tipo de material de fabricación. (15).

Principalmente, una cinta o banda transportadora se compone por una banda que es arrastrada por el contacto y fricción de un tambor cilíndrico o también llamado tambor motriz, el cual es accionado por un motor eléctrico. Por otro lado, el tambor de cola gira libremente, sin ningún accionamiento, ya que su única función es la de retorno (15).

Los costos de mantenimiento de las bandas transportadoras son extremadamente bajas en comparación a otros sistemas de transporte de materiales. Usualmente, los componentes de una banda transportadora solo requieren de inspección y lubricación; cualquier otra reparación o reemplazo de elementos puede ser planificada para evitar tiempos muertos.

#### 2.2.5 Régimen Laminar y Turbulento.

El físico inglés Reynolds realizó su famoso experimento, según el bosquejo siguiente: (16).



**Figura 10. Experimento de Reynolds. El tránsito de corriente laminar a turbulenta tiene lugar aproximadamente a  $R = 2000$   
Tomada de Turbomáquinas hidráulicas (16)**

En (a) la velocidad es mínima y la corriente ordenada (corriente laminar), el hilo del pigmento es claramente visible, y esta tiene una forma recta (16).

En (b) se observa que la turbulencia empieza a generarse cerca a la válvula para luego expandirse por toda la tubería, según la velocidad de agua esta se va incrementando (16).

En (c) el movimiento del fluido es tan desordenado que se mezcla el pigmento con el líquido quedando todo el tubo coloreado (corriente turbulenta). “Se observa entonces que, la transición de corriente laminar a corriente turbulenta, depende de un número adimensional característico de la influencia de la viscosidad del fluido en el fenómeno, que se denomina número de Reynolds, y no depende solo de la velocidad del fluido, que puede ser distinta en cada caso”:

$$R = \frac{VL}{\nu} \quad (1)$$

Donde:

V: velocidad media de la corriente

L: diámetro de la tubería

$\nu$ : viscosidad cinemática del fluido

Mientras más grande es el número de Reynolds menor es el influjo de la viscosidad. Siendo esta la característica más importante del fluido real se echa de ver la importancia excepcional de este parámetro en el estudio de las TM (16).

El experimento anterior le sirvió a Reynolds para determinar el denominado número crítico de Reynolds  $R_c = 2000$ , o sea aquel número por debajo del cual la corriente es siempre laminar. Reynolds eliminando las causas de perturbación (vibraciones, etc.) logró mantener corriente laminar solo hasta  $R = 12000$ . Por encima de este valor o número crítico superior de Reynolds, la corriente sería siempre turbulenta. Posteriormente, multiplicando las precauciones para eliminar las perturbaciones (mesa de trabajo sobre aisladores de resorte, etc.), se ha conseguido corriente laminar con valores de  $R$  aún mayores; por lo cual, el número crítico superior queda indeterminado. Se trata de una cuestión más académica que técnica, porque en la práctica las perturbaciones existentes provocan enseguida la turbulencia



al pasar el dintel del número crítico inferior  $R_c = 2000$ , único que tiene verdadero interés (16).

**a) Flujo Laminar.**

Es un flujo ordenado, estratificado, que tiene lugar en láminas o capas paralelas. Por ejemplo, el flujo del lubricante a baja velocidad en una tubería de pequeño diámetro se desplaza en capas cilíndricas concéntricas de manera ordenada, desde el eje donde se presenta la máxima velocidad, hacia la capa adyacente a la tubería donde la velocidad será cero (16).

**b) Flujo Turbulento.**

Es un flujo desordenado. Por ejemplo, el flujo de agua a mayor velocidad por una tubería de mayor diámetro es tal que las trayectorias de las partículas líquidas se rizan entre sí (16).

## **2.2.6 Tipos de Bombas.**

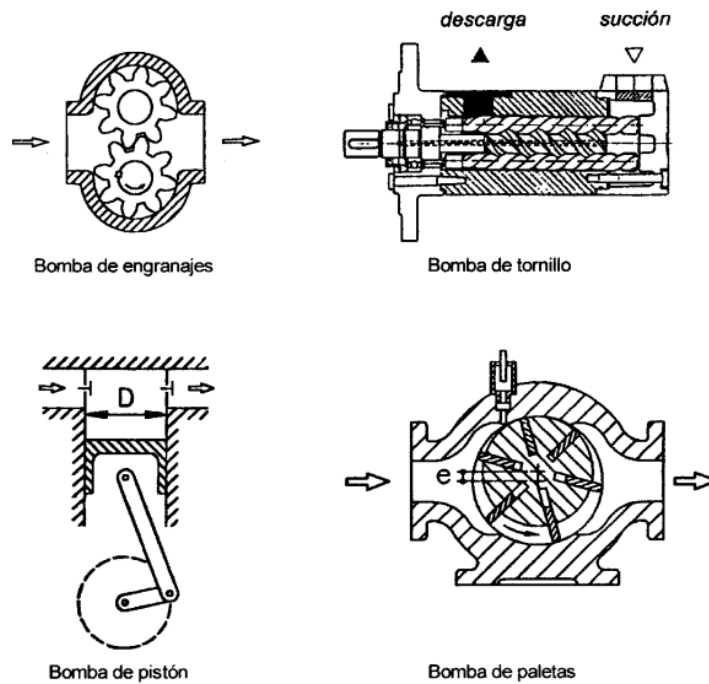
### **2.2.6.1 Clasificación de Bombas.**

Las bombas transforman energía mecánica en energía hidráulica (17).

Según el principio de funcionamiento se clasifican en:

Bombas de desplazamiento positivo o volumétrico.

En este grupo se entrega energía de presión al fluido, mediante el llenado y vaciado periódicos de cámaras con volumen confinado. Así mismo, este grupo se subdivide en rotativas y alternativas. En el primer subgrupo se tienen bombas de émbolos y pistones; mientras que en el segundo se tiene las bombas de paletas, engranajes, tornillo, lóbulos, etc (17).



**Figura 11. Tipos de bombas**  
*Tomada de Clasificación y tipos de bombas FNMT (17)*

### 2.2.6.2 Turbobombas.

Son máquinas hidráulicas que proveen energía cinética al fluido mediante el impulsor. Según la dirección del flujo a la salida del impulsor se clasifican en:

**Centrifugas:** La dirección del flujo a la salida del impulsor es perpendicular al eje (flujo radial) (17).

**Axiales:** La dirección del flujo a la salida del impulsor es paralela al eje (flujo axial) (17).

**Helicocentrífugas:** La dirección del flujo es mixto (17)

Las formas de rodete y carcasa varían de acuerdo al tipo de bomba, en las bombas de flujo con dirección radial, el fluido ingresa por la boquilla de aspiración axialmente y se descarga radialmente, para bombas de flujo mixto, el fluido ingresa axialmente al impulsor y se descarga en dirección mixta, finalmente, en bombas de flujo axial, el fluido entra y sale del rodete de manera axial (17).



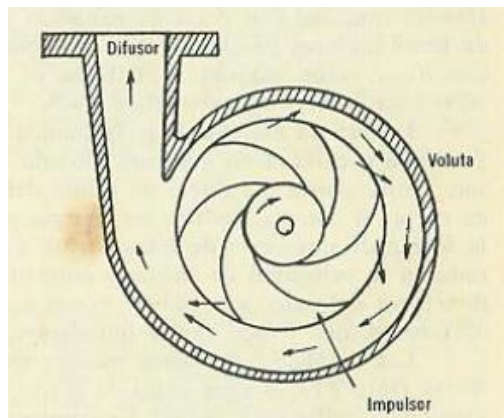
Flujo radial      Flujo mixto      Flujo axial

*Figura 12. Flujo del líquido según la forma de rodete  
Tomada de Clasificación y tipo de bombas FNMT (17)*

### 2.2.7 Bombas Centrifugas.

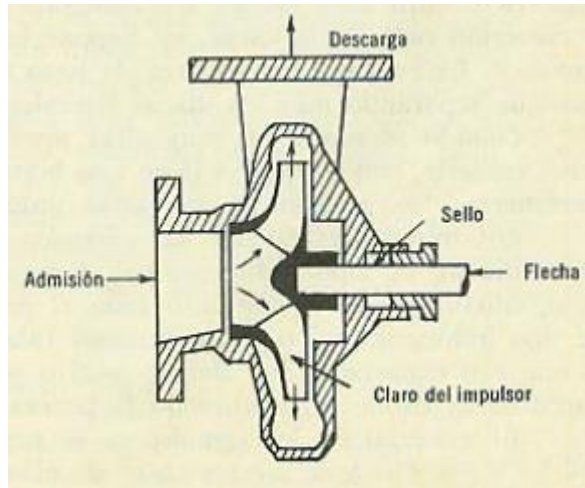
Las bombas centrifugas, como otras bombas, suministran carga estática a un determinado fluido, proveniente de la energía mecánica de un motor acoplado al eje.

Es una turbomáquina de flujo radial, por lo general presenta un área de paso de agua pequeña en comparación con el diámetro del impulsor, con el fin de que el fluido tenga un recorrido radial largo y se incremente la fuerza centrífuga (18).



*Figura 13. Recorrido del fluido en una bomba centrífuga  
Tomada de Turbomáquinas hidráulicas principios fundamentales (18)*

Las partes primordiales en una bomba centrífuga son la carcasa y el impulsor, los cuales forman un conjunto con el difusor, pues permite disminuir la velocidad y transformar energía cinética en energía potencial (18).



**Figura 14. Partes de una bomba centrífuga**  
 Tomada de *Turbomáquinas hidráulicas principios fundamentales* (18)

### 2.2.8 Funcionamiento de la Bomba Centrífuga.

La tubería de alimentación en una bomba centrífuga se conecta a la carcasa en dirección axial y en su defecto el agua penetra en la misma dirección al impulsor. En las bombas que cuentan con impulsores cerrados con alabes bidimensionales, el agua ataca el alabe cuando el flujo tiene dirección radial; pero si se trata de alabes tridimensionales y particularmente en impulsores abiertos, el agua ataca el alabe en dirección axial. En cualquier caso, el fluido recorre desde dentro hacia afuera en direccional radial hasta la periferia del impulsor (18).

### 2.2.9 Propiedades de los fluidos.

Según Claudio Mataix en su libro *Mecánica de fluidos y máquinas hidráulicas*, “Fluido es la sustancia que, por su baja unión intermolecular, no mantiene una forma propia y se amolda a la del recipiente que lo contiene”.

Así mismo, C. Mataix los clasifica en líquidos y gases (19).

#### a) Líquido.

Los líquidos ocupan un volumen determinado a una temperatura y presión determinada, esto quiere decir que, si se introduce el liquido en un recipiente, este tomara la forma del mismo, solo hasta el volumen que le corresponde, a su vez, si el líquido presenta una presión uniforme como la presión atmosférica, este tendrá una superficie plana, como se evidencia en un balde con agua (19).

### **b) Gases.**

Los gases también ocupan un volumen determinado a una temperatura y presión determinada, sin embargo, a diferencia de los líquidos, el gas en libertad se expandirá hasta llenar por completo el volumen del recipiente y no evidenciará superficie libre (19).

#### **2.2.10 Definición de Caudal.**

Según Claudio Mataix en su libro *Mecánica de fluidos y máquinas hidráulicas*, “Caudal es el volumen de un fluido por unidad de tiempo que pasa por un plano transversal a la corriente”. Por ejemplo, se representa los metros cúbicos de agua por hora que pasan por una sección transversal en una tubería (19).

$$Q = 1 \text{ m}^3/\text{seg En S.I.}$$

#### **2.2.11 Viscosidad.**

Cuando dos sólidos en contacto se desplazan uno con respecto al otro se presenta una determinada fuerza de fricción en la misma superficie de contacto, esta fuerza de fricción siempre estará en dirección opuesta al movimiento. Por ejemplo, para desplazar un cajón sobre una superficie, en este caso el piso, se deberá aplicar una fuerza horizontal mayor a la fuerza de fricción. La fuerza necesaria para desplazar el cajón dependerá del coeficiente de fricción entre el cajón y el piso (20).

Lo mismo sucede cuando un fluido se desplaza respecto a otro, o cuando se desplaza respecto a un sólido, evidencia de ello es la facilidad para desplazarse en el aire, mientras que el agua presenta mayor dificultad, desplazarse en aceite sería aun más dificultoso, si se deja caer una bola en tubos de vidrio con distintos fluidos, se observará que el aceite presentará mayor resistencia al movimiento de la bola, a esa propiedad se le conoce como la viscosidad. Por otro lado, la fuerza que un fluido ejerce sobre un cuerpo en la misma dirección del flujo, se conoce como fuerza de arrastre, y su magnitud depende en parte, de la viscosidad (20).

En mecánica de fluidos y transferencia de calor, usualmente se utiliza la razón de la viscosidad dinámica y la densidad. Por conveniencia, a esta razón se le conoce como viscosidad cinemática “ $\nu$ ” y se expresa de la siguiente manera:

$$\nu = \frac{\mu}{\rho} \quad (2)$$

Dos de las unidades más comunes de viscosidad cinemática son  $m^2/seg$  y el *stoke* ( $1 \text{ stoke} = 1 \text{ cm}^2/seg = 0.0001 \text{ m}^2/seg$ ) (20).

Generalmente, la viscosidad de un fluido depende de la temperatura y de la presión, aunque la dependencia a la presión es mas débil. Para los líquidos, la viscosidad cinemática y dinámica son independientes de la presión y por ello se descarta cualquier variación mínima sobre esta, a excepción de presiones extremadamente altas. Para los gases, también se aplica la independencia de la presión para la viscosidad dinámica (a presiones bajas hasta moderadas), pero para la viscosidad cinemática si se tomara en cuando debido a que la densidad del gas es proporcional a su presión (20).

### **2.2.12 Ecuación de Colebrook – White.**

El factor de fricción en flujo turbulento totalmente desarrollado está dado por el número de Reynolds y la razón entre la altura media de rugosidad de la tubería y su diámetro (rugosidad relativa)  $\varepsilon/D$ , no se puede obtener este resultado a partir del análisis teórico, por ello todos los resultados obtenidos son a partir de experimentos con superficies rugosas conseguidas artificialmente (pegando granos de arena de tamaño conocido a la superficie interior de la tubería). La mayoría de estos experimentos los realizo, Nikuradse, en 1933. Quien obtuvo el factor de fricción a partir de las mediciones de la razón de flujo y la caída de presión (20).

En 1939 los resultados experimentales de ajuste de curvas, junto los datos disponibles para flujo de transición y turbulento en tuberías rugosas y lisas, esta relación se la conoce como ecuación de Coolebrook (20).

### **2.2.13 Diagrama de Moody.**

En 1942, Hunter Rouse (1906-1996) presentó una tabla de rugosidades de tuberías comerciales y la relación de flujo laminar. En 1944 Moody (1880-1953) redibujó el diagrama de Rouse a la forma en la que se conoce en la actualidad. Este representa el factor de fricción de Darcy para flujos en tubería como función del numero de Reynolds y la rugosidad relativa en un rango amplio. Es quizás uno de los diagramas mas utilizados y aceptados en ingeniería, si bien se realizó para tuberías circulares, también puede ser utilizada en tuberías no circulares, sustituyendo el diámetro por el diámetro hidráulico (20).

Véase el diagrama en el anexo 3.

#### 2.2.14 Pérdida de carga total (general).

$$h_{L,total} = h_{L,mayor} + h_{L,menor} \quad (3)$$

$$h_{L,total} = \left( f \frac{L}{D} + \sum K_L \right) \frac{v^2}{2 \cdot g}$$

##### 2.2.14.1 Pérdidas Menores.

En un sistema de tuberías el fluido pasa a través de distintos accesorios como son: codos, tees, uniones, reductores, etc. Los cuales interrumpen el flujo suave y generan pérdidas, en sistemas con tuberías de tramo largo, estas pérdidas son menores a la pérdida de carga por fricción, también como cocidas como pérdidas mayores.

Este caso se presenta en sistemas con varios accesorios y válvulas en una tramo corto, donde las pérdidas de carga resultantes por las válvulas totalmente abiertas pueden ser despreciables, pero si la válvula está cerrada parcialmente provoca las pérdidas de carga más grande en todo el sistema, el flujo a través de estos accesorios son muy complejos por lo que en general no es lógico un análisis teórico, para ello, los fabricantes de accesorios determinan las pérdidas menores que generan de manera experimental (20).

#### 2.2.15 La Ecuación de Bernoulli.

Es una relación aproximada entre la elevación, la velocidad y la presión, y es válida en regímenes de flujo estacionario e incompresible donde se desprecian las fuerzas de fricción netas. A pesar de su simplicidad la ecuación sirve de instrumento importante en el estudio de mecánica de fluidos.

La deducción de la ecuación de Bernoulli se basa en que “los efectos viscosos son insignificamente pequeños en comparación con los efectos de gravitacionales, presión y de inercia”. Dado que todos los fluidos presentan viscosidad (20).

$$\left[ \frac{P_1}{\gamma} + \frac{v_1}{2 \times g} + Z_1 \right] + h_{bomba} - h_{fricción} = \left[ \frac{P_2}{\gamma} + \frac{v_2}{2 \times g} + Z_2 \right] \quad (4)$$

### **2.2.16 Norma Básica de Ergonomía y Procedimiento de Evaluación de Riesgo Disergonómico.**

La norma básica de ergonomía y procedimiento de evaluación de riesgo disergonómico se aprobó en Lima, el 28 de noviembre del 2008, por medio de la resolución ministerial N.º 375 – 2008 – TR, esta norma tiene como objetivo principal, el “establecer los parámetros que permitan la adaptación de las condiciones de trabajo a las características físicas y mentales de los trabajadores con el fin de proporcionarles bienestar, seguridad y mayor eficiencia en su desempeño, tomando en cuenta que la mejora de las condiciones de trabajo contribuye a una mayor eficacia y productividad empresarial” (21).

De ello, en el título IV “Posicionamiento postural en los puestos de trabajo” se pueden encontrar los requisitos mínimos a cumplir cuando se realizan trabajos de pie, a continuación, se detallan los que serán tomados en cuenta para el desarrollo del prototipo de esta investigación (21):

- a) Evitar la torsión y flexión del cuerpo combinados en el desarrollo de las tareas debido a que estas son el origen de gran parte de las lesiones musculoesqueléticas (21).
- b) La superficie de trabajo debe tener la altura y características compatibles con el tipo de actividad a realizar, como son trabajos de precisión, fuerza moderada o fuerza demandante (21).
- c) La manipulación manual de cargas se debe realizar preferentemente encima de superficies estables, que permitan no perder el equilibrio con facilidad (21).
- d) Las tareas no se deberán realizar por encima de los hombros ni por debajo de las rodillas, si su naturaleza así lo permite (21).
- e) Los comandos manuales deben ofrecer buenas condiciones de seguridad y manipulación. Evitando errores en su interpretación y de fácil operación (21).
- f) Los empleados asignados a realizar tareas en postura de pie deben recibir una formación adecuada e instrucciones precisas en cuanto a las técnicas de posicionamiento postural y manipulación de equipos (21).



Así mismo, del título V “Equipos y herramientas en los puestos de trabajo de producción” se tiene en consideración el artículo 18 donde indica: “todos los equipos y herramientas que componen un puesto de trabajo deben estar adaptados a las características físicas y mentales de los trabajadores, y a la naturaleza del trabajo que se esté realizando” (21).

#### **2.2.17 Protección y Medidas Protectoras Complementarias Según ISO 12100.**

Cuando es imposible aplicar el diseño seguro de manera inherente, se debe proteger, por ejemplo, uso de protecciones fijas, protección de enclavamiento, detectores para evitar arranques inesperados, etc. (22).

La protección debe restringir el contacto de las personas con el peligro, o bien reducir el nivel de peligro hasta niveles seguros, antes de la persona entre en contacto con ellos (22).

Las protecciones pueden ser fijas para distanciar el peligro, o móviles para que se cierre de manera automática o accionamientos de enclave eléctrico (22).

### **2.3 Definición de Términos Básicos**

#### **2.3.1. Hidrodinámica.**

Según la RAE es la rama de la física que estudia el movimiento de los fluidos. Así mismo, se puede decir que estudia los fluidos en movimiento definidos por un campo vectorial de velocidades que corresponden a las partículas del fluido.

#### **2.3.2. Prototipo.**

Es el primer modelo que se fabrica de una idea de diseño que sirve como base o apoyo para posteriores desarrollos.

#### **2.3.3. Máquina.**

Conjunto de elementos fijos y móviles, cuyo objetivo es transformar la energía y aprovecharla en forma de trabajo.

#### **2.3.4. Flujo Turbulento.**

Movimiento caótico de un fluido, donde las partículas se mueven desordenadamente.

### **2.3.5. Faja Transportadora.**

Sistema de transporte continuo entre dos puntos por medio de dos tambores, tambor motriz y tambor de reenvío.

## **Capítulo III**

### **Metodología**

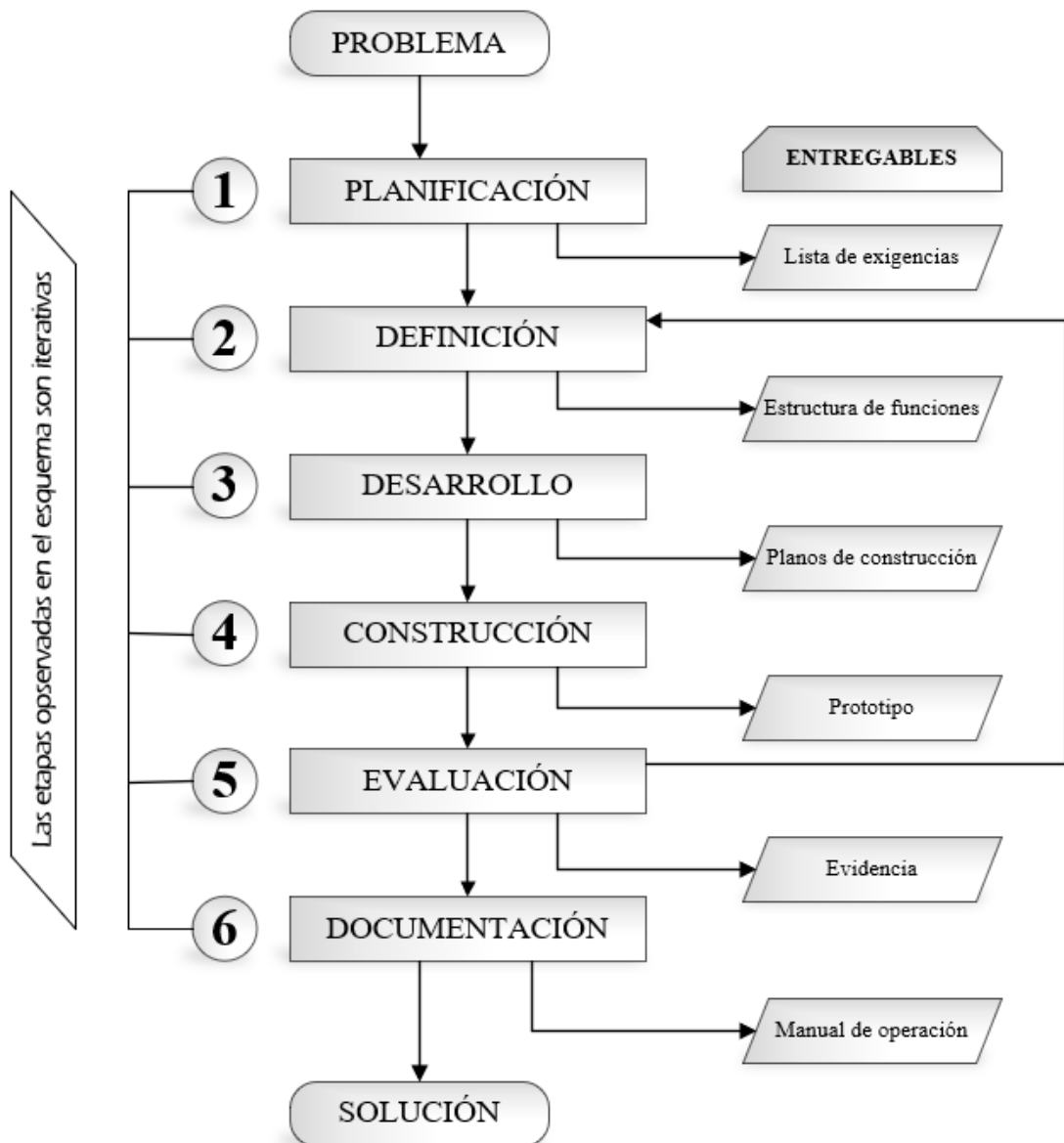
#### **3.1 Tipo de Investigación**

La investigación presentada es de desarrollo tecnológico, debido a que analiza el problema del lavado de espinacas en el distrito de La Unión Leticia, Tarma, y a través de estrategias que son empleadas en el abordaje del problema, se logra generar conocimientos que pueden ser puestos en práctica en sectores productivos con el fin de generar impacto social positivo, de esta manera se reduce los riesgos a los que se exponen los agricultores y se mejora la calidad del producto en el proceso poscosecha.

#### **3.2 Metodología Aplicada para el Desarrollo de la Solución**

Debido a que las metodologías actuales de diseño de máquinas han ido evolucionando con base en países industrializados y, por ello, tanto fases como metodologías enteras no son apropiadas para el diseño de máquinas en contextos que no sean sociedades desarrolladas.

La metodología de diseño a desarrollar a lo largo de esta investigación tecnológica será una adaptación desde las metodologías planteadas por la norma alemana VDI 2221 y Ullman.



**Figura 15. Metodología propuesta para el desarrollo de la investigación con base en la norma VDI 2221 y Ullman**

A continuación, se detallan cada una de las etapas de la metodología planteada:

### 3.2.1 Planificación.

En esta etapa se pretende comprender el problema, definiendo características del producto a diseñar, restricciones y recursos disponibles.

#### 3.2.1.1 Planteamiento del Problema.

Como primer paso de la investigación se describe la situación que debe ser solucionada afinando y estructurando formalmente la idea de investigación, en su estructura se puede encontrar los objetivos, pregunta y justificación, así mismo,

establece el punto de partida, delimita y direcciona todas las acciones que se desarrollan con posterioridad.

### **3.2.1.2 Estado del Arte.**

En esta sección, se representan diseños de máquinas que se han realizado con anterioridad, ya que permiten y facilitan el reconocimiento y recopilación de información para el desarrollo de la investigación a un nuevo diseño de máquina.

### **3.2.1.3 Análisis Crítico.**

Explica el procedimiento de intervención de los métodos utilizados en la investigación.

#### **a) Guías de Observación.**

Permite el enfoque sistemático de la investigación en el objeto de estudio, con la finalidad de obtener datos e información imprescindible para el diseño.

#### **b) Encuestas.**

Es el instrumento que permite conocer comportamientos y tendencias de los encuestados sobre un fenómeno a estudiar.

Se aplicaron las encuestas a los agricultores del distrito de La Unión Leticia, para conocer datos como producción diaria de espinacas, relación de limpieza y precio de venta (anexo 2).

### **3.2.1.4 Lista de Exigencias.**

Enlista una serie de requerimientos que se debe cumplir al diseñar la máquina según su prioridad, los cuales son definidos como exigencias o deseos, siendo las exigencias de mayor importancia que los deseos.

A continuación, se muestra la estructura de la lista de exigencias que se utilizó en la presente investigación.

**Tabla 4. Formato lista de exigencias LE**

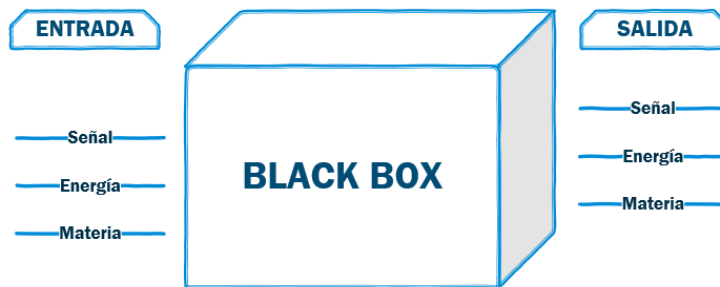
LISTA DE EXIGENCIAS			
<b>Proyecto:</b>		Diseño y prototipado de una máquina lavadora hidrodinámica post cosecha de espinacas para el distrito de La Union Leticia - Tarma	Fecha: 12/08/2021
<b>Cliente:</b>		UNIVERSIDAD CONTINENTAL	Revisado: R.D.C.
Nº	Deseo o Exigencia	Descripción	Responsable
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			

### 3.2.2 Definición.

Esta etapa permite definir, calificar y especificar el desarrollo conceptual del prototipo que se pretende diseñar.

#### 3.2.2.1 Caja Negra.

El método de caja negra permite al diseñador ser creativamente libre y confiar en que sus diseños serán exitosos, ello se debe a que durante el proceso se van produciendo ideas y soluciones aplicados en el desarrollo del diseño.



*Figura 16. Esquema de caja negra*

#### 3.2.2.2 Secuencia de Operaciones o Sistemas Técnicos.

Considera las funciones que requiere el diseño de acuerdo con el orden de sus procesos.

#### 3.2.2.3 Descripción de Funciones.

Detalla brevemente cada una de las funciones que realiza la máquina a desarrollar.

### 3.2.2.4 Estructura de Funciones.

Describe la secuencia de los procesos y funciones internas que comprende la máquina en diseño.

### 3.2.2.5 Matriz Morfológica.

Está conformada por una serie de cuadros que permiten al diseñador comparar dos o más opciones de diseño, permitiendo analizar ventajas y desventajas de cada opción, finalmente, a través de criterios de evaluación se obtienen como resultado los componentes del sistema por diseñar.

A continuación, se muestra la matriz morfológica a utilizar en la presente investigación.

*Tabla 5. Formato matriz morfológica LE*

Funciones	PORTADORES DE FUNCIONES (Principios de Solución)			
	1	2	3	4
Abastecer				
Lavar				
Filtrar				
Transportar				
Bomba				
Energía				

### 3.2.2.6 Evaluación.

La evaluación tiene como objetivo identificar la solución óptima, en la presente investigación se utiliza el método de la matriz de selección de alternativas de Pugh.

**Tabla 6. Formato matriz de Pugh**

CRITERIOS DE SELECCIÓN (Lista de exigencias)	Importancia (Peso)	C.S.1		C.S.2		C.S.3	
		Calific.	Pond.	Calific.	Pond.	Calific.	Pond.
Valoración total							

### 3.2.2.7 Bosquejo del Diseño Ideal.

En este apartado se presenta el concepto de solución esquematizado a mano alzada.

### 3.2.3 Desarrollo.

En esta fase se analizan los principios de solución, funciones estructurales, dando como resultado el diseño definitivo del sistema, entregando como resultado los siguientes ítems.

#### a) Cálculos Analíticos.

En este apartado se realizan los cálculos teóricos que delimitaron los parámetros de diseño.

#### b) Plano de Construcción.

Se realizan los planos de ensamble con listas de materiales y detalle para construcción.

### 3.2.4 Construcción.

Se detallan las exigencias para la fabricación del prototipo.



### **3.2.5 Evaluación.**

Se realizan las simulaciones, pruebas y ensayos de funcionamiento del prototipo diseñado.

### **3.2.6 Documentación.**

Se elaboran los planos de detalle, manual de operación, manual de mantenimiento. Así mismo, se detallan los costos de fabricación de la máquina.

## **Capítulo IV**

### **Análisis y Diseño de la Solución**

#### **4.1 Identificación de Requerimientos**

##### **4.1.1 Planificación.**

###### ***4.1.1.1 Planteamiento del Problema.***

La presente investigación establece su punto de partida en el problema ocasionado por la exposición de los agricultores de La Unión Leticia, Tarma, a temperaturas bajas por corrientes de agua fría y la necesidad de obtener un lavado de buena calidad evitando de este modo pérdidas económicas por bajo precio de venta en espinacas.

###### ***4.1.1.2 Estado del Arte.***

De acuerdo con la información recopilada y presentada en la presente investigación en el capítulo 2, marco teórico, antecedentes del problema, se busca identificar la importancia de cada una de estas y aprovechar, métodos, cálculos, diseños, etc. para facilitar y mejorar las propuestas establecidas por anteriores autores.

A continuación, se presenta a detalle los alcances utilizados de cada antecedente:

###### **❖ *Lavadora por Inmersión.***

La empresa Hidacam Ingenieros S. A. S., presenta en su línea de proyectos para alimentos, la lavadora por inmersión, máquina diseñada para lavado industrial de frutas, fábrica en acero inoxidable AISI 304, con sistema de recirculación y aspersión.



**Figura 17. Máquina lavadora por inmersión  
Tomada de Hidacam ingenieros S. A. S. (23)**

❖ *Lavadora de Vegetales 10064.*

La empresa distribuidora Imarca ofrece a sus clientes la máquina lavadora de vegetales 10064, utilizada para tratamiento y desinfección del agua limpia. Con sistema de filtrado de agua con filtro activo de carbón. Peso de la máquina 250 kg, con capacidad de producción de 800 kg/h.



**Figura 18. Lavadora de vegetales 10064  
Tomada de Distribuidora Imarca C. A. (24)**

**4.1.1.3 Análisis Crítico.**

*a) Guía de Observación.*

La guía de observación permite identificar parámetros aproximados para el diseño del prototipo de máquina final.

**Tabla 7. Guía de observación desarrollada**

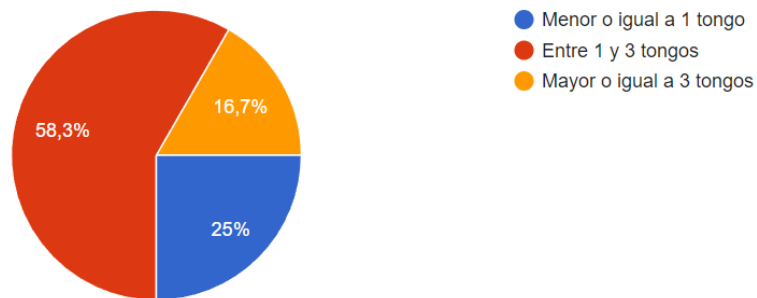
<b>Etapas</b>	<b>Duración</b>	<b>Herramientas</b>	<b>Equipo</b>	<b>Responsable</b>
Identificación de ángulo de inclinación para espinacas	5 min	Flexometro	Tolva de alimentación	J. O.
Controlar el tiempo de lavado artesanal de espinacas	15 min	Cronometro	Lavadora de espinacas	J. O.

*b) Encuestas.*

Se aplicó una encuesta a 24 agricultores enfatizando en la confidencialidad de los participantes y especificando que su uso es solo para fines investigativos y que todo material recopilado sería eliminado después de su análisis.

A continuación, con la finalidad de determinar las necesidades y requerimientos más importantes por considerar en el diseño del prototipo, se presentan los resultados de las preguntas con mayor relevancia para la investigación:

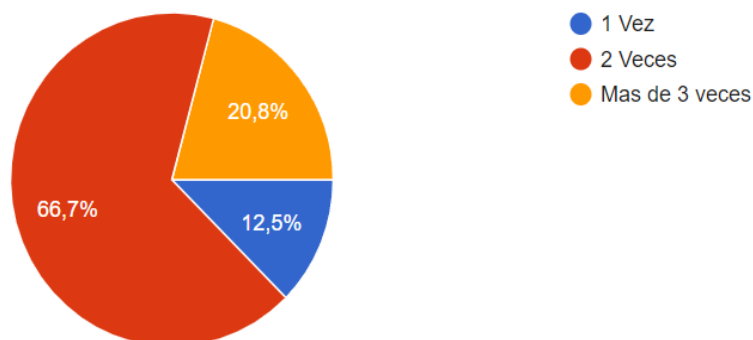
6. ¿Qué cantidad de terreno utiliza para la siembra de espinacas?



**Figura 19. Diagrama circular sobre tamaño de terreno utilizado para sembrío de espinacas.**

De la figura 19, se puede observar que más del 50 % de los agricultores utilizan terrenos de 1 a 3 tongos para el sembrío de espinacas.

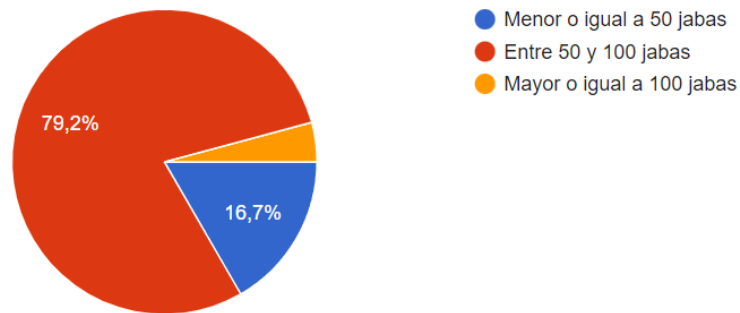
7. ¿Cuántas veces al año cosecha espinacas?



**Figura 20. Diagrama circular sobre cuantas veces al año cosecha espinacas**

De la figura 20, se evidencia que el 66.7 % de los encuestados cosechan espinacas 2 veces al año.

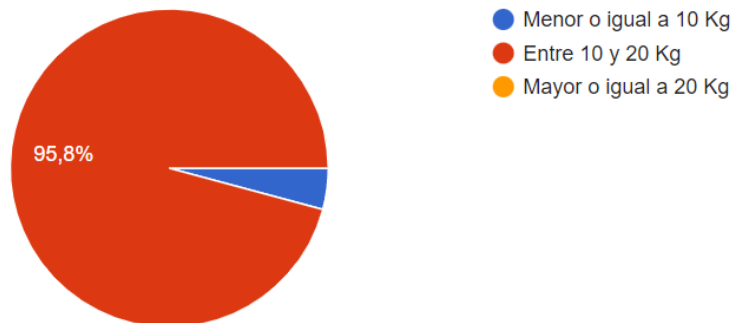
8. Aproximadamente, ¿Cuántas jabas de espinacas produce un tongo de sembrío?



**Figura 21. Diagrama circular sobre cuantas jabas de espinaca produce un tongo de sembrío**

Del gráfico, se observa que el 79.2 % de los encuestados están de acuerdo en que un tongo de sembrío produce entre 50 y 100 jabas.

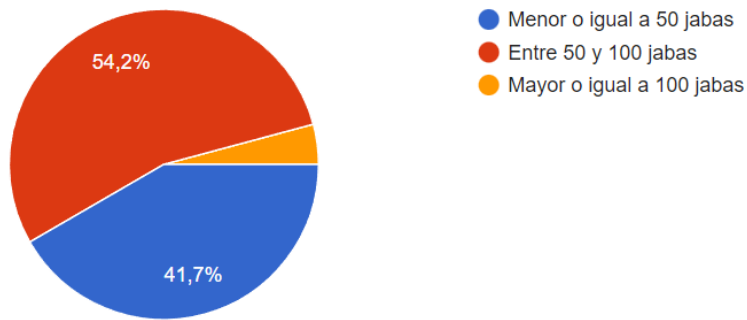
9. Aproximadamente, ¿Cuántos kilogramos de espinaca tiene cada jaba?



**Figura 22. Diagrama circular sobre cantidad de kilogramos de espinaca por jaba**

Del gráfico, se puede observar que la mayoría de los agricultores está de acuerdo en que los kilogramos de espinaca por cada jaba están comprendidos entre 10 y 20 kg.

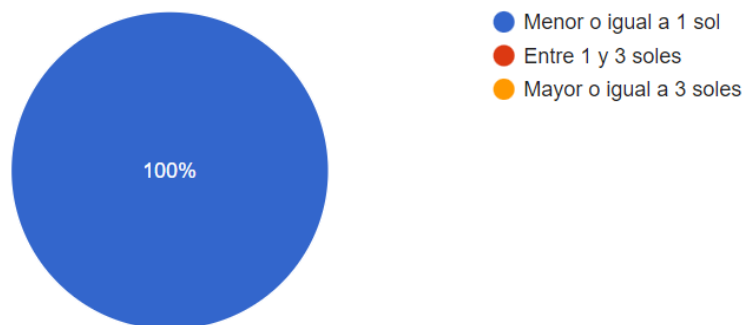
10. ¿Cuántas jabas de espinaca cosecha y lava en un día?



**Figura 23. Diagrama circular sobre cantidad de jabas cosechadas y lavadas en un día**

Del gráfico, se evidencia que el 54.0 % de los encuestados cosechan y lavan entre 50 y 100 jabas por día.

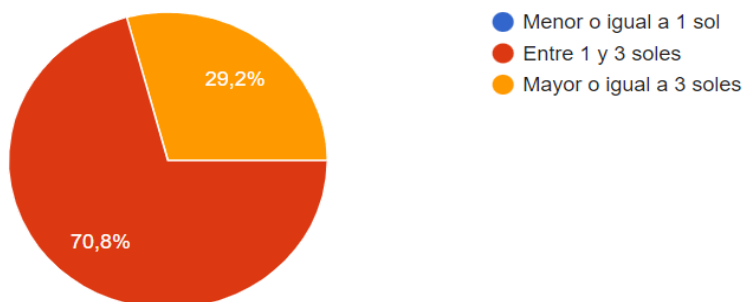
11. Aproximadamente, ¿cuánto es su ganancia en 1 kilogramo de espinacas, en temporadas bajas?



**Figura 24. Gráfico circular sobre ganancia en temporadas bajas**

Del gráfico, se puede apreciar que en temporadas bajas las ganancias por kilogramo de espinacas son menores o igual a 1 sol.

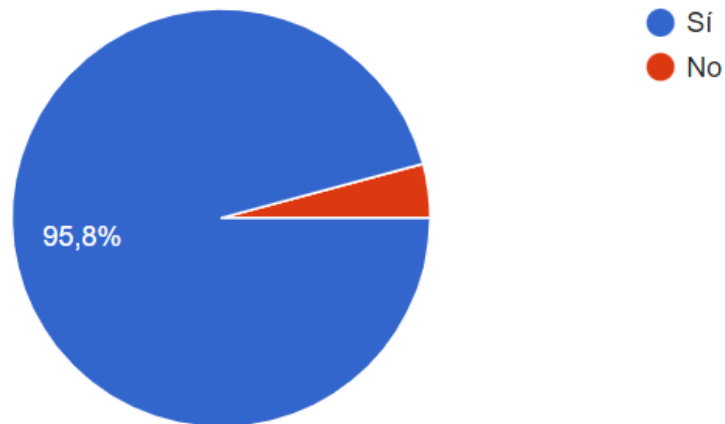
12. Aproximadamente, ¿cuánto es su ganancia en 1 kilogramo de espinacas, en buena temporada?



**Figura 25. Gráfico circular sobre ganancia en buenas temporadas**

Del gráfico, se puede apreciar que en buena temporada las ganancias por kilogramo para más de la mitad de los agricultores están entre 1 y 3 soles.

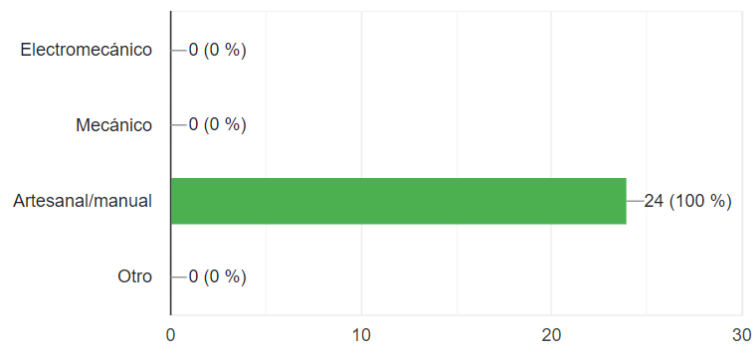
13. ¿Existe relación entre la calidad de lavado y el precio de venta de las espinacas?



**Figura 26. Gráfico circular de relación de lavado y precio de venta de espinacas**

Del gráfico, se evidencia que sí existe una relación entre la calidad de lavado y el precio de venta de las espinacas.

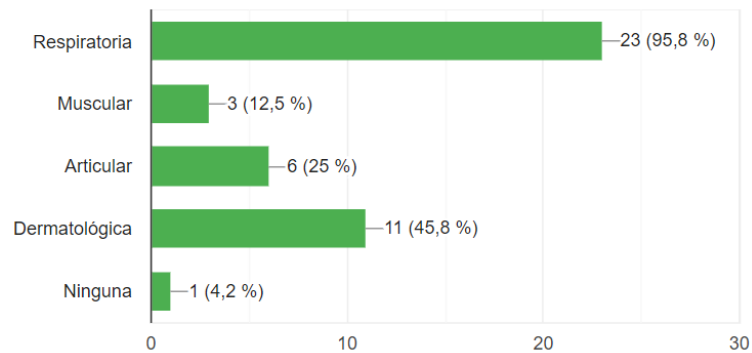
15. ¿Qué técnicas de lavado utiliza?



**Figura 27. Gráfico de barras de técnicas de lavado de espinaca utilizadas**

Se observa del gráfico, que el total de agricultores solo conoce el método artesanal para el lavado de espinacas.

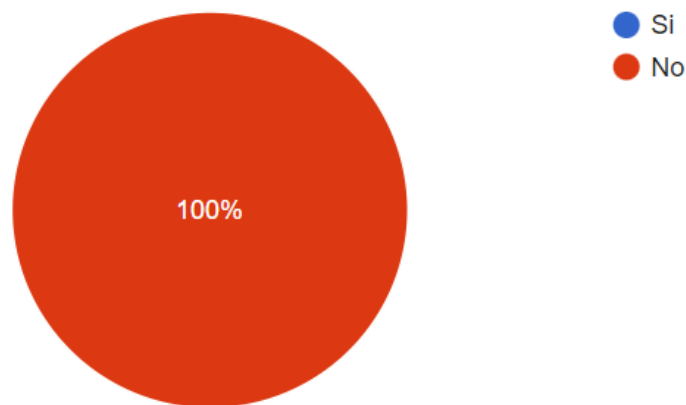
16. ¿Ha sufrido alguna enfermedad a consecuencia de realizar el lavado de espinaca?



**Figura 28. Gráfico de barras de enfermedades ocasionadas por el lavado de espinacas**

Del gráfico, se puede observar que las enfermedades más comunes como consecuencia de realizar el lavado de espinacas son enfermedades respiratorias y dermatológicas.

17. ¿Conoce usted alguna máquina lavadora de espinacas?

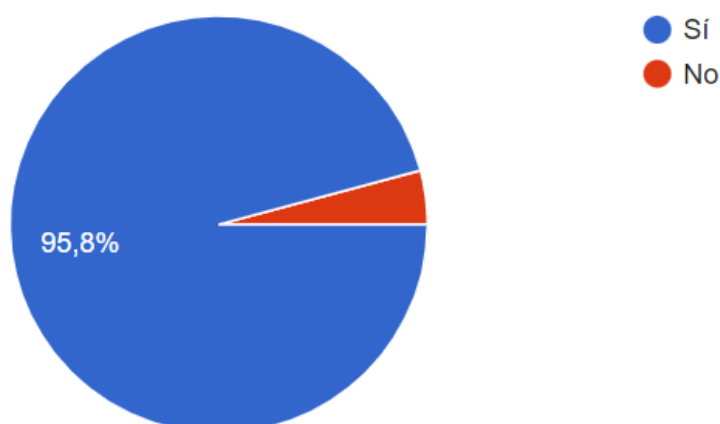


**Figura 29. Gráfico circular de conocimiento de los agricultores sobre la existencia de máquinas lavadoras de espinacas**

Del gráfico, se concluye que ninguno de los agricultores encuestados tiene conocimiento de la existencia de alguna máquina lavadora de espinacas.



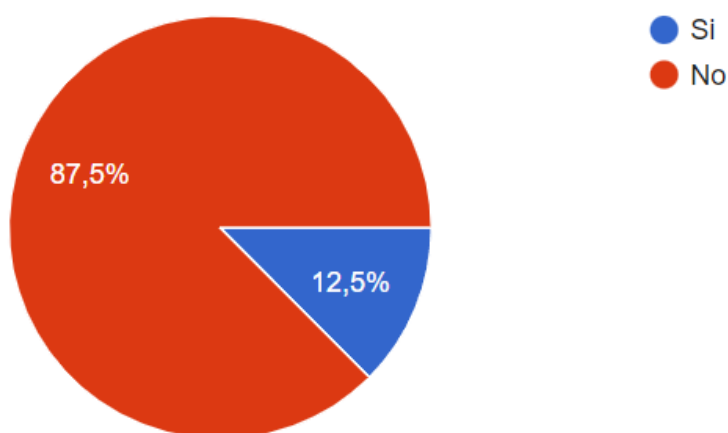
20. ¿Cree usted que sería recomendable la implementación de una máquina de lavado de espinacas en el proceso de poscosecha?



*Figura 30. Gráfico circular sobre aceptación de implementación de una máquina lavadora*

Del gráfico, se observa que el 95.8 % de los encuestados, recomiendan la implementación de una máquina lavadora de espinacas en el proceso poscosecha.

21. ¿Considera que la implementación de una máquina lavadora de espinacas generaría desempleo?



*Figura 31. Gráfico circular de percepción de los agricultores sobre la relación de la máquina lavadora y generación de desempleo*

Se puede observar, del gráfico circular, que una mínima cantidad de agricultores encuestados cree que la implementación de una máquina lavadora generaría desempleo.

#### **4.1.1.4 Lista de Exigencias.**

De acuerdo con los instrumentos utilizados para recopilación de datos se determinó la siguiente lista de exigencias y deseos.

**Tabla 8. Lista de exigencias**

LISTA DE EXIGENCIAS			
Proyecto:		Diseño y prototipado de una máquina lavadora hidrodinámica post cosecha de espinacas para el distrito de La Union Leticia - Tarma	Fecha: 12/08/2021
Cliente:		UNIVERSIDAD CONTINENTAL	Revisado: R.D.C.
Nº	Deseo o Exigencia	Descripción	Responsable
1	E	<b>Funcion:</b> Que realice el lavado de las espinacas independientemente del tamaño y/o cantidad de hojas en ramo.	J.O.J.
2	E	<b>Geometria:</b> Tener una tolva de alimentación con capacidad para 15 Kg de espinaca.	J.O.J.
3	E	<b>Energia:</b> El prototipo de máquina debe usar un motor eléctrico con alimentación monofasica de 220 V.	J.O.J.
4	E	<b>Mantenimiento:</b> Los mecanismo deben ser de facil mantenibilidad.	J.O.J.
5	E	<b>Seguridad:</b> Los sistemas y subsistemas de mecanismos moviles deben contar con guardas de seguridad para evitar accidentes.	J.O.J.
6	E	<b>Seguridad:</b> El diseño debe contar con un sistema de seguridad por bloqueo electrico para evitar accidentes	J.O.J.
7	E	<b>Ergonomia:</b> El diseño debe ser realizado de acuerdo a los criterios ergonomicos para evitar lesiones por sobre esfuerzo y/o movimiento repetitivo a los operarios.	J.O.J.
8	E	<b>Materia:</b> Las partes que tengan contacto directo con la espinaca debe ser de material resistente a la corrosión y oxidación.	J.O.J.
9	D	El prototipo debe contar con un tablero de control automatico para encendido y apagado.	J.O.J.
10	D	El prototipo debe contar con placa de identificación con características tecnicas de operación.	J.O.J.
11	E	El motor seleccionado debe ser adecuado a la producción.	J.O.J.
12	D	El prototipo debe evitar la contaminación acustica al momento de su funcionamiento.	J.O.J.

## 4.2 Análisis de la Solución

### 4.2.1 Definición.

#### 4.2.1.1 Caja Negra.

El prototipo de máquina lavadora de espinacas, como su propio nombre lo dice, deberá lavar las espinacas dejándolas libre de restos contaminantes, evitando en lo posible maltratar las hojas.

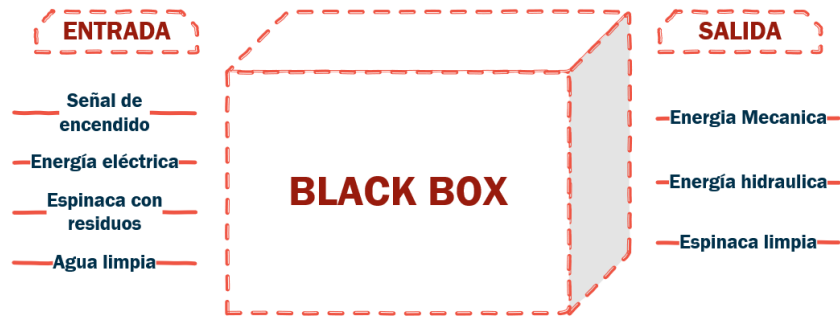


Figura 32. Caja negra desarrollada

#### 4.2.1.2 Secuencia de Operación o Sistemas Técnicos.

El prototipo de la máquina lavadora de espinacas debe ser abastecida manualmente hasta la tolva de alimentación, en su funcionamiento deberá retirar los contaminantes de las hojas y entregar a la salida de la cámara de lavado, espinacas libres de contaminantes y agua contaminada que será dirigida a un sistema de filtro y recirculación.

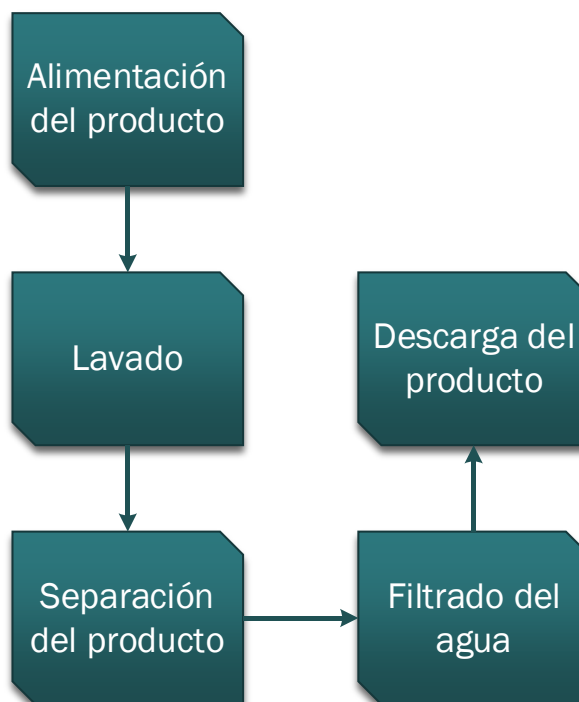


Figura 33. Secuencia de operación

#### 4.2.1.3 Descripción de Funciones.

##### a. Alimentación del Producto.

La alimentación debe ser de forma manual hacia la tolva de alimentación del prototipo que tendrá una capacidad de 15 kg de espinacas.

*b. Lavado.*

Las espinacas inmediatamente después de pasar por la tolva de alimentación deberán ser lavados de restos contaminantes, evitando dañar las hojas.

*c. Separación del Producto.*

La separación de las espinacas y el agua con residuos se realiza por medio de un mecanismo que permitirá dejar caer el agua hacia el sistema de filtrado y luego al tanque de almacenamiento, mientras que la espinaca será recogida y trasladada por medio de una faja transportadora.

*d. Filtrado del Agua.*

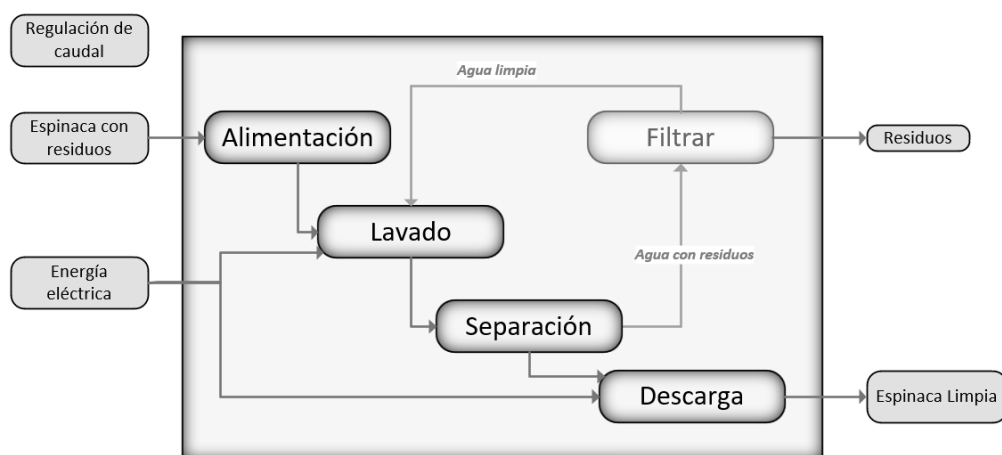
El sistema de filtrado deberá permitir la reutilización del agua, para evitar su consumo excesivo.

*e. Descarga del Producto.*

A la salida el operador deberá esperar el producto para ser embalado en las jabas.

**4.2.1.4 Estructura de Funciones.**



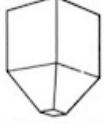

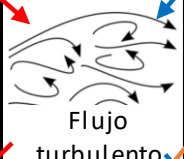




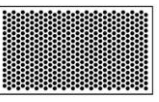




La estructura de funciones o caja blanca presentada explica las funciones internas del prototipo, las cuales deben estar sincronizadas para evitar la ampliación de funciones.



**Figura 34. Estructura de funciones o caja blanca**

#### 4.2.1.5 Matriz Morfológica.

Tabla 9. Matriz morfológica desarrollada

Funciones	PORTADORES DE FUNCIONES (Principios de Solución)		
	1	2	3
Alimentación	 Manual	 Faja transportadora	 Tolva
Lavado	 Chorro	 Flujo turbulento	 Centrifugado
Separación	 Gravedad	 Sensor	 Criba
Filtrado	 Saranda	 Carbon activado	 Ozono
Descarga	 Manual	 Faja transportadora	
	C.S. 1	C.S. 2	C.S. 3

#### 4.2.1.6 Evaluación.

A continuación, se muestra la evaluación de los criterios de solución obtenidos en la matriz morfológica, la evaluación se desarrolla aplicando la alternativa propuesta por el inglés Stuart Pugh.

La columna de importancia se califica en un rango de 1 a 10, mientras que cada concepto de solución tiene una calificación de 1 al 5 donde:

1. Nulo cumplimiento
2. Poco cumplimiento
3. Regular cumplimiento
4. Mucho cumplimiento
5. Excelente cumplimiento

**Tabla 10. Matriz de Pugh desarrollada**

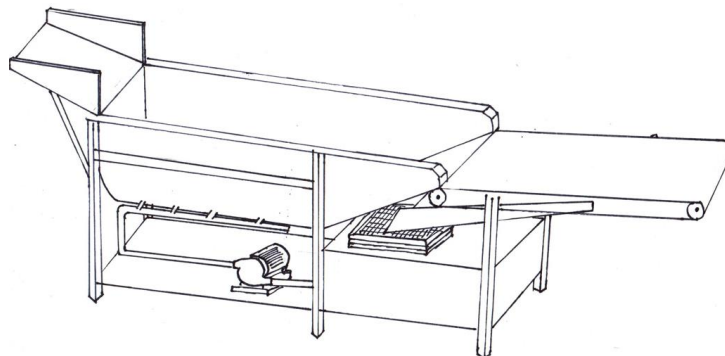
CRITERIOS DE SELECCIÓN (Lista de exigencias)	Importancia (Peso)	C.S.1		C.S.2		C.S.3	
		Calific.	Pond.	Calific.	Pond.	Calific.	Pond.
Funcionabilidad	9	5	45	2	18	5	45
Consumo de energía	5	4	20	5	25	3	15
Mantenibilidad	6	4	24	2	12	3	18
Costo de fabricación	7	4	28	1	7	3	21
Nivel de ruido en funcionamiento	5	4	20	3	15	2	10
<b>Valoración total</b>			137		77		109

Finalmente, se determina que el criterio de solución 1, obtuvo el mayor puntaje en valoración total.

#### **4.2.1.7 Descripción de la Alternativa Ideal.**

La alternativa ideal que se obtuvo luego de desarrollar los criterios de selección presenta los siguientes elementos: la alimentación deberá ser manual, el proceso de lavado se dará por medio de la aplicación de flujo turbulento en la cámara de lavado, el filtrado del agua se dará por zarandas, el transporte de las espinacas limpias hacia la salida del prototipo será por medio de una faja transportadora.

#### **4.2.1.8 Bosquejo de Diseño Ideal.**



**Figura 35. Bosquejo del diseño ideal de prototipo de lavadora de espinacas**

### **4.3 Diseño**

#### **4.3.1 Desarrollo.**

##### **4.3.1.1 Determinación de la Capacidad en Masa.**

Como punto de partida para el diseño del prototipo de lavadora de espinacas se tomará la capacidad de lavado, porque de ello dependen las dimensiones de los elementos del prototipo de lavadora de espinacas. A continuación, se detallan los cálculos y resultados.

Se tomará una productividad media de 75 jabas al día con un peso promedio de 15 kg.

Entonces, se tiene:

$$\#jabas \text{ al dia} \times kg = \text{Producción diaria} \quad (5)$$

Resolviendo, se tiene:

$$75 \times 15kg = 1125 kg$$

Por lo tanto, la producción diaria en el distrito de La Unión Leticia sería de 1125 kg.

Así mismo, si el prototipo funciona 8 horas a diario se tiene:

$$P_w = \frac{\text{Producción diaria}}{\# \text{ horas funcionamiento}} \quad (6)$$

Reemplazando:

$$P_w = \frac{1125 kg}{8 h}$$

$$P_w = 140.63 \text{ kg/h}$$

Para fines de cálculo posteriores se determina la capacidad volumétrica:

$$Q_m = Q_v \cdot \gamma \quad (7)$$

Donde:

$Q_m$ : capacidad en masa (t/h)

$Q_v$ : capacidad volumetrica ( $m^3/h$ )

$\gamma$ : peso específico ( $t/m^3$ )

Resolviendo se obtiene:

$$Q_v = \frac{Q_m}{\gamma}$$

$$Q_v = \frac{140.63}{2550.6 \cdot 9.81}$$

$$Q_v = 0.5386 \text{ m}^3/\text{h}$$

Finalmente, representado en número de jabas, se tiene:

$$140.63 \frac{\text{kg}}{\text{h}} \times \frac{1 \text{ Jaba}}{15 \text{ Kg}} = 9.38 \text{ jabas}/\text{h}$$

#### 4.3.1.2 Determinación del Ángulo Máximo para Faja de Salida.

Se realizó la determinación del ángulo de inclinación por el método experimental, donde se colocó un ramo de espinacas en una superficie metálica, probando distintas inclinaciones y obteniendo deslizamiento inminente en el siguiente escenario:

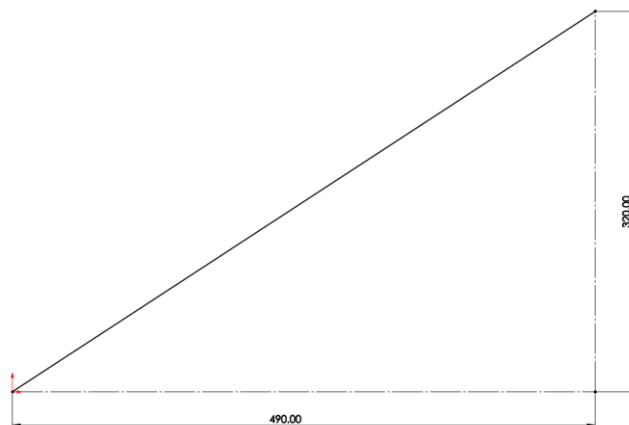


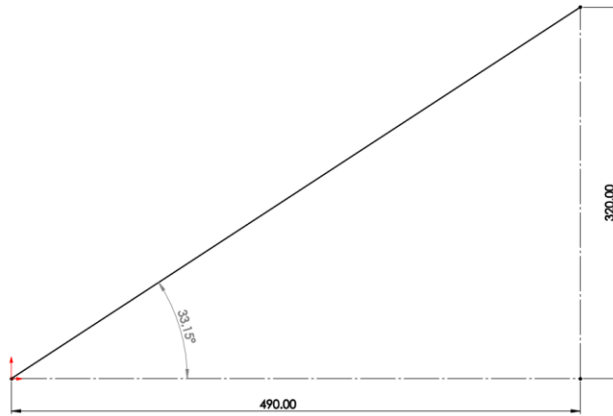
Figura 36. Escenario óptimo para ángulo de inclinación

De ello, se tiene:

$$\tan \theta = \frac{0.32}{0.49}$$

$$\theta = 33.15^\circ$$





**Figura 37. Determinación del ángulo de inclinación**

El ángulo de inclinación de la faja de salida no deberá superar por ningún motivo los 33.15°

#### **4.3.1.3 Determinación de Velocidad y Potencia Necesaria para Faja Transportadora.**

##### *a. Cálculo de Velocidad de Avance de la Cinta.*

Para determinar la velocidad de avance de la banda transportadora se tiene la siguiente ecuación:

$$Q_v = 3600 \cdot v \cdot A \cdot k \quad (8)$$

Donde:

$Q_v$ : capacidad volumétrica de la banda ( $m^3/h$ )

$v$ : velocidad de avance de la banda ( $m/s$ )

$A$ : área de la sección transversal del material transportado por la banda ( $m^2$ )

$k$ : coeficiente de reducción de la capacidad de transporte de la cinta por su inclinación

El coeficiente  $k$  se puede determinar desde la siguiente ecuación:

$$k = 1 - 1.64 \left( \frac{\varphi \cdot \pi}{180} \right)^2 \quad (9)$$

Donde:

$\varphi$ : ángulo de inclinación de la cinta

Se toma un ángulo de  $23.32^\circ$  para la inclinación de la faja transportadora, reemplazando para determinar el coeficiente de reducción  $k$  se tiene:

$$k = 1 - 1.64 \left( \frac{23.32 \cdot \pi}{180} \right)^2$$

$$k = 0.7283$$

Por otro lado, se despeja  $v$  de la ecuación de capacidad volumétrica:

$$v = \frac{Q_v}{3600 \cdot A \cdot k}$$

Resolviendo, se tiene:

$$v = \frac{0.5386}{3600 \cdot 79 \times 10^{-6} \cdot 0.7283}$$

$$v = 2.6 \text{ m/s}$$

Para determinar la velocidad en el tambor motriz se tiene la siguiente ecuación:

$$v = \frac{\pi}{6000} \cdot \omega \cdot D \quad (10)$$

Donde:

$v$ : velocidad periférica (m/s)

$\omega$ : velocidad angular (rpm)

$D$ : diámetro de tambor (mm)

Desarrollando, se tiene:

$$\omega = \frac{2.6 \cdot 6000}{\pi \cdot 50}$$

$$\omega = 99.31 \text{ rpm}$$

*b. Cálculo de Potencia de Faja Transportadora.*

Para determinar la potencia total de una faja transportadora se suman tres potencias parciales, las cuales se muestran a continuación:

Potencia necesaria para mover la cinta en vacío y carga:

$$P1 = \frac{C_b \cdot v + Q_m}{C_l \cdot K_f} \quad (11)$$

Donde:

$C_b$ : factor de anchura de la banda (kg/s)

$v$ : velocidad de avance de la banda (m/s)

$Q_m$ : capacidad de transporte en masa (t/h)

$C_l$ : factor de longitud de la banda ( $m^{-1}$ )

$K_f$ : factor de servicio (-)

Los valores de  $C_b$ ,  $C_l$ , y  $K_f$  se obtienen de las tablas, ver anexo 4.

Reemplazando los valores en la ecuación 6, se obtiene:

$$P1 = \frac{54 \cdot 2.6 + 0.1400}{338.25 \cdot 1}$$

$$P1 = 0.4184$$

Potencia necesaria para elevar la carga:

$$P2 = \frac{H \cdot Q_m}{367} \quad (12)$$

Donde:

$H$ : altura que alcanza la banda transportadora (m)

$Q_m$ : capacidad de transporte en masa de la banda (t/h)

Resolviendo, se obtiene:

$$P2 = \frac{0.3562 \cdot 0.1400}{367}$$

$$P_2 = 0.0001360$$

Potencia necesaria para vencer rozamiento de elementos auxiliares (P3), esta potencia no será considerada, debido a que, por la forma constructiva del prototipo no se incluyen elementos auxiliares.

Hallando la potencia total:

$$P_T = P_1 + P_2 + P_3 \quad (13)$$

Reemplazando los valores obtenidos anteriormente:

$$P_T = 0.4184 + 0.001360$$

$$P_T = 0.4185$$

Finalmente, se calcula la potencia consumida, considerando el rendimiento total del motorreductor que será instalado.

$$P_M = \frac{P_T}{n} \quad (14)$$

Así mismo,  $n$  se determina de la siguiente ecuación:

$$n = n_m \cdot n_r \quad (15)$$

Donde:

$n_m$ : *rendimiento de motor electrico*

$n_r$ : *rendimiento de caja reductora*

Entonces, para  $n_m = 0.90$  y  $n_r = 0.95$ .

$$n = 0.86$$

Reemplazando, en la ecuación de potencia consumida:

$$P_M = \frac{0.4185}{0.86}$$

$$P_M = 0.4866 \text{ Kw}$$

Por lo tanto, para la faja transportadora se determina un motorreductor de 1HP/100 rpm.

#### **4.3.1.4 Determinación de la Potencia de la Bomba.**

##### *a. Cálculo del Caudal.*

Por el principio de Torricelli en tanques, se sabe que:

$$V = \sqrt{2 \times g \times h} \quad (16)$$

Donde:

*V: velocidad de descarga (m/s)*

*g: aceleración de la gravedad (9.81 m/s<sup>2</sup>)*

*h: altura de fluido (m)*

Resolviendo, se tiene:

$$V = \sqrt{2 \times 9.81 \times 0.423}$$

$$V = 2.8808 \text{ m/s}$$

Se sabe también que:

$$Q = V \times A \quad (17)$$

Para una tubería de descarga de Ø 2".

$$Q = 2.8808 \times \left( \frac{\pi}{4} \times 0.0508^2 \right)$$

$$Q = 5.8389 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s} = 5.8389 \text{ L/s}$$

##### *b. Determinación del Peso Específico.*

Como se sabe, el peso específico de un líquido está determinado por:

$$\gamma = \rho \times g \quad (18)$$

La temperatura promedio del agua en el distrito de La Unión Leticia es de 10 °C, por ello, para la determinación del peso específico, se toma la densidad de la siguiente tabla:

**Tabla 11. Densidad del agua a distintas temperaturas**

Propiedades del agua saturada

Temp. $T, ^\circ\text{C}$	Presión de saturación $P_{\text{sat}}, \text{kPa}$	Densidad $\rho, \text{kg/m}^3$		Entalpía de vaporización $h_{\text{fg}}, \text{kJ/kg}$	Calor específico $c_p, \text{J/kg} \cdot \text{K}$		Conductividad térmica $k, \text{W/m} \cdot \text{K}$		Viscosidad dinámica $\mu, \text{kg/m} \cdot \text{s}$		Número de Prandtl Pr		Coeficiente de expansión volumétrica $\beta, 1/\text{K}$
		Líquido	Vapor		Líquido	Vapor	Líquido	Vapor	Líquido	Vapor	Líquido	Vapor	
0.01	0.6113	999.8	0.0048	2501	4217	1854	0.561	0.0171	$1.792 \times 10^{-3}$	$0.922 \times 10^{-5}$	13.5	1.00	$-0.068 \times 10^{-3}$
5	0.8721	999.9	0.0068	2490	4205	1857	0.571	0.0173	$1.519 \times 10^{-3}$	$0.934 \times 10^{-5}$	11.2	1.00	$0.015 \times 10^{-3}$
10	1.2276	999.7	0.0094	2478	4194	1862	0.580	0.0176	$1.307 \times 10^{-3}$	$0.946 \times 10^{-5}$	9.45	1.00	$0.733 \times 10^{-3}$
15	1.7051	999.1	0.0128	2466	4186	1863	0.589	0.0179	$1.138 \times 10^{-3}$	$0.959 \times 10^{-5}$	8.09	1.00	$0.138 \times 10^{-3}$
20	2.339	998.0	0.0173	2454	4182	1867	0.598	0.0182	$1.002 \times 10^{-3}$	$0.973 \times 10^{-5}$	7.01	1.00	$0.195 \times 10^{-3}$
25	3.169	997.0	0.0231	2442	4180	1870	0.607	0.0186	$0.891 \times 10^{-3}$	$0.987 \times 10^{-5}$	6.14	1.00	$0.247 \times 10^{-3}$
30	4.246	996.0	0.0304	2431	4178	1875	0.615	0.0189	$0.798 \times 10^{-3}$	$1.001 \times 10^{-5}$	5.42	1.00	$0.294 \times 10^{-3}$
35	5.628	994.0	0.0397	2419	4178	1880	0.623	0.0192	$0.720 \times 10^{-3}$	$1.016 \times 10^{-5}$	4.83	1.00	$0.337 \times 10^{-3}$
40	7.384	992.1	0.0512	2407	4179	1885	0.631	0.0196	$0.653 \times 10^{-3}$	$1.031 \times 10^{-5}$	4.32	1.00	$0.377 \times 10^{-3}$
45	9.593	990.1	0.0655	2395	4180	1892	0.637	0.0200	$0.596 \times 10^{-3}$	$1.046 \times 10^{-5}$	3.91	1.00	$0.415 \times 10^{-3}$
50	12.35	988.1	0.0831	2383	4181	1900	0.644	0.0204	$0.547 \times 10^{-3}$	$1.062 \times 10^{-5}$	3.55	1.00	$0.451 \times 10^{-3}$
55	15.76	985.2	0.1045	2371	4183	1908	0.649	0.0208	$0.504 \times 10^{-3}$	$1.077 \times 10^{-5}$	3.25	1.00	$0.484 \times 10^{-3}$
60	19.94	983.3	0.1304	2359	4185	1916	0.654	0.0212	$0.467 \times 10^{-3}$	$1.093 \times 10^{-5}$	2.99	1.00	$0.517 \times 10^{-3}$
65	25.03	980.4	0.1614	2346	4187	1926	0.659	0.0216	$0.433 \times 10^{-3}$	$1.110 \times 10^{-5}$	2.75	1.00	$0.548 \times 10^{-3}$
70	31.19	977.5	0.1983	2334	4190	1936	0.663	0.0221	$0.404 \times 10^{-3}$	$1.126 \times 10^{-5}$	2.55	1.00	$0.578 \times 10^{-3}$
75	38.58	974.7	0.2421	2321	4193	1948	0.667	0.0225	$0.378 \times 10^{-3}$	$1.142 \times 10^{-5}$	2.38	1.00	$0.607 \times 10^{-3}$
80	47.39	971.8	0.2935	2309	4197	1962	0.670	0.0230	$0.355 \times 10^{-3}$	$1.159 \times 10^{-5}$	2.22	1.00	$0.653 \times 10^{-3}$
85	57.83	968.1	0.3536	2296	4201	1977	0.673	0.0235	$0.333 \times 10^{-3}$	$1.176 \times 10^{-5}$	2.08	1.00	$0.670 \times 10^{-3}$
90	70.14	965.3	0.4235	2283	4206	1993	0.675	0.0240	$0.315 \times 10^{-3}$	$1.193 \times 10^{-5}$	1.96	1.00	$0.702 \times 10^{-3}$
95	84.55	961.5	0.5045	2270	4212	2010	0.677	0.0246	$0.297 \times 10^{-3}$	$1.210 \times 10^{-5}$	1.85	1.00	$0.716 \times 10^{-3}$
100	101.33	957.9	0.5978	2257	4217	2029	0.679	0.0251	$0.282 \times 10^{-3}$	$1.227 \times 10^{-5}$	1.75	1.00	$0.750 \times 10^{-3}$
110	143.27	950.6	0.8263	2230	4229	2071	0.682	0.0262	$0.255 \times 10^{-3}$	$1.261 \times 10^{-5}$	1.58	1.00	$0.798 \times 10^{-3}$
120	198.53	943.4	1.121	2203	4244	2120	0.683	0.0275	$0.232 \times 10^{-3}$	$1.296 \times 10^{-5}$	1.44	1.00	$0.858 \times 10^{-3}$
130	270.1	934.6	1.496	2174	4263	2177	0.684	0.0288	$0.213 \times 10^{-3}$	$1.330 \times 10^{-5}$	1.33	1.01	$0.913 \times 10^{-3}$
140	361.3	921.7	1.965	2145	4286	2244	0.683	0.0301	$0.197 \times 10^{-3}$	$1.365 \times 10^{-5}$	1.24	1.02	$0.970 \times 10^{-3}$
150	475.8	916.6	2.546	2114	4311	2314	0.682	0.0316	$0.183 \times 10^{-3}$	$1.399 \times 10^{-5}$	1.16	1.02	$1.025 \times 10^{-3}$
160	617.8	907.4	3.256	2083	4340	2420	0.680	0.0331	$0.170 \times 10^{-3}$	$1.434 \times 10^{-5}$	1.09	1.05	$1.145 \times 10^{-3}$
170	791.7	897.7	4.119	2050	4370	2490	0.677	0.0347	$0.160 \times 10^{-3}$	$1.468 \times 10^{-5}$	1.03	1.05	$1.178 \times 10^{-3}$
180	1,002.1	887.3	5.153	2015	4410	2590	0.673	0.0364	$0.150 \times 10^{-3}$	$1.502 \times 10^{-5}$	0.983	1.07	$1.210 \times 10^{-3}$
190	1,254.4	876.4	6.388	1979	4460	2710	0.669	0.0382	$0.142 \times 10^{-3}$	$1.537 \times 10^{-5}$	0.947	1.09	$1.280 \times 10^{-3}$
200	1,553.8	864.3	7.852	1941	4500	2840	0.663	0.0401	$0.134 \times 10^{-3}$	$1.571 \times 10^{-5}$	0.910	1.11	$1.350 \times 10^{-3}$
220	2,318	840.3	11.60	1859	4610	3110	0.650	0.0442	$0.122 \times 10^{-3}$	$1.641 \times 10^{-5}$	0.865	1.15	$1.520 \times 10^{-3}$
240	3,344	813.7	16.73	1767	4760	3520	0.632	0.0487	$0.111 \times 10^{-3}$	$1.712 \times 10^{-5}$	0.836	1.24	$1.720 \times 10^{-3}$
260	4,688	783.7	23.69	1663	4970	4070	0.609	0.0540	$0.102 \times 10^{-3}$	$1.788 \times 10^{-5}$	0.832	1.35	$2.000 \times 10^{-3}$
280	6,412	750.8	33.15	1544	5280	4835	0.581	0.0605	$0.094 \times 10^{-3}$	$1.870 \times 10^{-5}$	0.854	1.49	$2.380 \times 10^{-3}$
300	8,581	713.8	46.15	1405	5750	5980	0.548	0.0695	$0.086 \times 10^{-3}$	$1.965 \times 10^{-5}$	0.902	1.69	$2.950 \times 10^{-3}$
320	11,274	667.1	64.57	1239	6540	7900	0.509	0.0836	$0.078 \times 10^{-3}$	$2.084 \times 10^{-5}$	1.00	1.97	
340	14,586	610.5	92.62	1028	8240	11,870	0.469	0.110	$0.070 \times 10^{-3}$	$2.255 \times 10^{-5}$	1.23	2.43	
360	18,651	528.3	144.0	720	14,690	25,800	0.427	0.178	$0.060 \times 10^{-3}$	$2.571 \times 10^{-5}$	2.06	3.73	
374.14	22,090	317.0	317.0	0	—	—	—	—	$0.043 \times 10^{-3}$	$4.313 \times 10^{-5}$			

Nota 1: La viscosidad cinemática  $\nu$  y la difusividad térmica  $\alpha$  se pueden calcular a partir de sus definiciones:  $\nu = \mu/\rho$  y  $\alpha = k/\rho c_p = \nu/\text{Pr}$ . Las temperaturas

De la tabla, se tiene:

$$\rho_{H_2O} = 999.7 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

Reemplazando en la ecuación, se tiene:

$$\gamma = 999.7 \times 9.81$$

$$\gamma = 9807.06 \frac{kg \cdot m}{m^3 \cdot s} = 9807.06 \frac{N}{m^3}$$

c. *Viscosidad Cinemática.*

$$\nu = \frac{\mu}{\rho} \quad (19)$$

Reemplazando los datos extraídos de la tabla 11 para agua a 10 °C.

$$\nu = \frac{1.307 \times 10^{-3}}{999.7}$$

$$\nu = 1.307 \times 10^{-6} \frac{m^2}{s} = 1.307 \text{ centistoke}$$

d. *Perdidas por Fricción en el Tramo de Succión.*

Se tienen los siguientes datos:

$$\text{Longitud de succión } (L_S) = 0.526 \text{ m}$$

$$\text{Diámetro de succión } (D_S) = 0.0508 \text{ m}$$

$$\text{Velocidad de succión } (v_S) = 2.8808 \text{ m/s}$$

Con ellos se determina el número de Reynolds de lo siguiente:

$$Re_s = \frac{v_s \times D_{is}}{\nu} \quad (20)$$

Reemplazando los valores en la ecuación 8, con una tubería de 2 pulgadas, se obtiene:

$$Re_s = \frac{2.8808 \times 0.0508}{1.307 \times 10^{-6}}$$

$$Re_s = 111970.05$$

Como:

$$Re_s > 4000$$

Se presenta flujo turbulento.

Se procede a determinar las pérdidas lineales, según Darcy-Weisbach se tiene:

$$h_{ls} = f \frac{L}{D} \left( \frac{v^2}{2 \cdot g} \right) \quad (21)$$

Así mismo, para determinar el coeficiente de fricción se tiene:

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log \left( \frac{\varepsilon/D}{3.7} + \frac{2.51}{Re \sqrt{f}} \right) \quad (22)$$

Donde:

$f$ : coeficiente de fricción

$D_i$ : diámetro de tubería

$\varepsilon$ : Rugosidad absoluta

$Re$ : número de Reynolds

Despejando  $f$  de la ecuación, para facilitar el cálculo se tiene:

$$f = \left[ \frac{1}{-2 \log \left( \frac{\varepsilon/D}{3.7} + \frac{2.51}{Re \sqrt{f}} \right)} \right]^2 = \left( \frac{1}{4} \right) \left[ \frac{1}{\log \left( \frac{\varepsilon/D}{3.7} + \frac{2.51}{Re \sqrt{f}} \right)} \right]^2$$

Se determina la rugosidad absoluta de la siguiente tabla:



**Tabla 12. Rugosidad absoluta**

MATERIAL	$\epsilon$ en mm
<b>OTROS MATERIALES</b>	
Plástico (PE,PVC)	0.0015
Poliéster reforzado con fibra de vidrio	0.01
Tubos estirados de acero	0.0024
Tubos de latón o cobre	0.0015
Fundición revestida de cemento	0.0024
Fundición con revestimiento bituminoso	0.0024
Fundición centrifugada	0.003
Fundición asfaltada	0.06 a 0.18
Fundición	0.12 a 0.60
Acero comercial y soldado	0.03 a 0.09
Hierro forjado	0.03 a 0.09
Hierro Galvanizado	0.06 a 0.24
Madera	0.18 a 0.90
Hormigón	0.3 a 3.0

Para tubo de hierro galvanizado, se obtiene rugosidad absoluta de 0.24 mm.

Entonces, reemplazando en la ecuación se obtiene:

$$f = \left(\frac{1}{4}\right) \left[ \frac{1}{\log\left(\frac{0.24/50.8}{3.7} + \frac{2.51}{111970.05\sqrt{f'}}\right)} \right]^2$$

Se realizaron las iteraciones en una hoja de cálculo, los resultados se muestran en la siguiente tabla:

**Tabla 13. Iteraciones para coeficiente de fricción tramo succión**

N°	f'	f
1	0.030000	0.030737
2	0.030737	0.030727
3	0.030727	0.030727
4	0.030727	0.030727
5	0.030727	0.030727

De la tabla:

$$f = 0.0307$$

Del mismo modo, reemplazando en la ecuación se tiene:

$$h_{ls} = 0.0307 \frac{0.526}{0.0508} \left( \frac{2.8808^2}{2 \times 9.81} \right)$$

$$h_{ls} = 0.1346 \text{ m}$$

Continuando con la solución se procede a calcular las pérdidas secundarias, de la siguiente fórmula:

$$h_{ss} = \sum K_s \left( \frac{v^2}{2 \cdot g} \right) \quad (23)$$

Donde:

$h_s$  : pérdidas secundarios o singulares

$K_s$  : coeficiente de pérdidas

$v$  : velocidad

$g$  : aceleración de la gravedad  $9.81 \text{ m/s}^2$

Se determina la sumatoria de  $K_s$ , en el tramo de succión:

Se tiene los siguientes accesorios:

**Tabla 14. Accesorios para el tramo de succión**

Accesorio	Cant	Ki	K
Tee	1	1.5	1.5
Codo 90°	2	0.9	1.8
Valvula check	1	2.8	2.8
Entrada de tubería con resalte interior	1	0.78	0.78

Entonces, resolviendo la ecuación 23, se tiene:

$$h_{ss} = 6.88 \left( \frac{2.8808^2}{2 \cdot 9.81} \right)$$

$$h_{ss} = 2.9102 \text{ m}$$

e. *Pérdidas por Fricción en el Tramo de Descarga.*

Se tienen los siguientes datos:

$$\text{Longitud de descarga } (L_d) = 3.835 \text{ m}$$

$$\text{Diámetro de descarga } (D_d) = 0.0254 \text{ m}$$

$$\text{Velocidad de descarga } (v_d) = 1.92 \text{ m/s}$$

Con ellos se determina el número de Reynolds de lo siguiente:

$$Re_d = \frac{v_d \times D_{id}}{\nu} \quad (24)$$

Reemplazando los valores en la ecuación, con una tubería de 1 pulgada, se obtiene:

$$Re_d = \frac{1.92 \times 0.0254}{1.307 \times 10^{-6}}$$

$$Re_d = 37323.35$$

Como:

$$Re_d > 4000$$

Se presenta flujo turbulento.

Se procede a determinar las pérdidas lineales, según Darcy-Weisbach se tiene:

$$h_{ld} = f \frac{L}{D} \left( \frac{v^2}{2 \cdot g} \right) \quad (25)$$

El valor encontrado de rugosidad absoluta es 0.24, debido a que las tuberías de descarga y succión son del mismo material.

Entonces, se procede a determinar el coeficiente de fricción según la ecuación.

Reemplazando, se tiene:

$$f = \left(\frac{1}{4}\right) \left[ \frac{1}{\log \left( \frac{0.24/25.4}{3.7} + \frac{2.51}{37323.35\sqrt{f'}} \right)} \right]^2$$

Se realizaron las iteraciones en una hoja de cálculo, los resultados se muestran en la siguiente tabla:

**Tabla 15. Iteraciones para coeficiente de fricción tramo de descarga**

N°	f'	f
1	0.015000	0.039738
2	0.039738	0.037730
3	0.037730	0.037744
4	0.037744	0.037744
5	0.037744	0.037744

De la tabla, se tiene:

$$f = 0.0377$$

Del mismo modo, reemplazando en la ecuación, se tiene:

$$h_{ld} = 0.0377 \frac{3.835}{0.0254} \left( \frac{1.92^2}{2 \times 9.81} \right)$$

$$h_{ld} = 1.0713 \text{ m}$$

Continuando con la solución se procede a calcular las pérdidas secundarias, de la siguiente fórmula:

$$h_{sd} = \sum K_s \left( \frac{v^2}{2 \cdot g} \right) \quad (26)$$

Donde:

$h_s$  : pérdidas secundarios o singulares

$K_s$  : coeficiente de pérdidas

$v$  : velocidad

$g$  : aceleración de la gravedad  $9.81 \text{ m/s}^2$

Se determina la sumatoria  $K_s$ :

Se tiene los siguientes accesorios:

**Tabla 16. Accesorios para el tramo descarga**

Accesorio	Cant	Ki	K
Codo 90°	9	0.9	8.1
Tee bilateral	6	1.8	10.8
Vavula de bola	6	10	60
Reduccion gradual	5	0.25	1.25
Codo largo 22° - 30°	4	0.1	0.4
Boquillas	6	2.75	16.5

Entonces, resolviendo la ecuación, se tiene:

$$h_{sd} = (97.05) \left( \frac{1.92^2}{2 \cdot 9.81} \right)$$

$$h_{sd} = 18.2449 \text{ m}$$

f. *Pérdidas por Fricción en el Sistema.*

Finalmente, se realiza la sumatoria de las pérdidas encontradas tanto en succión como en descarga, se tiene lo siguiente:

$$h_f = h_{ls} + h_{ss} + h_{ld} + h_{sd}$$

$$h_f = 0.1346 + 2.9102 + 1.0713 + 18.2449$$

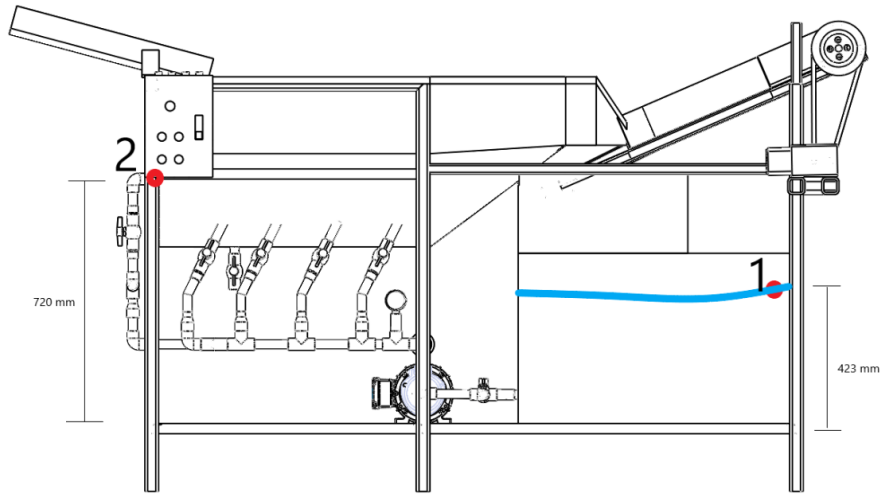
$$h_f = 22.4048 \text{ m}$$

g. *Determinación de la Altura de Bombeo Mediante la Ecuación de Bernoulli.*

Se conoce que el principio de la conservación de la energía aplicada a fluidos está dado por la siguiente ecuación:

$$\left[ \frac{P_1}{\gamma} + \frac{v_1}{2 \times g} + Z_1 \right] + h_{bomba} - h_{fricción} = \left[ \frac{P_2}{\gamma} + \frac{v_2}{2 \times g} + Z_2 \right] \quad (27)$$

Entonces, para el sistema planteado se tiene:



**Figura 38. Diagrama de análisis de la ecuación de Bernoulli en el sistema de lavadora de espinacas**

Despejando  $h_{bomba}$  de la ecuación 18, se obtiene:

$$h_{bomba} = \left[ \frac{P_2}{\gamma} + \frac{v_2}{2 \times g} + Z_2 \right] - \left[ \frac{P_1}{\gamma} + \frac{v_1}{2 \times g} + Z_1 \right] + h_{fricción}$$

$$h_{bomba} = \left[ \frac{0}{9807.74} + \frac{1.92}{2 \times 9.81} + 0.720 \right] - \left[ \frac{0}{9807.74} + \frac{0}{2 \times 9.81} + 0.423 \right] + 22.4048$$

$$h_{bomba} = 22.8897 \text{ m}$$

#### *h. Cálculo de Potencia Teórica de la Bomba.*

Para el cálculo de potencia de bomba en HP se tiene la siguiente fórmula:

$$P_B = \frac{Q \cdot \rho \cdot g \cdot h_b}{746 \cdot e} \quad (28)$$

Para una eficiencia del 50 % se obtiene:

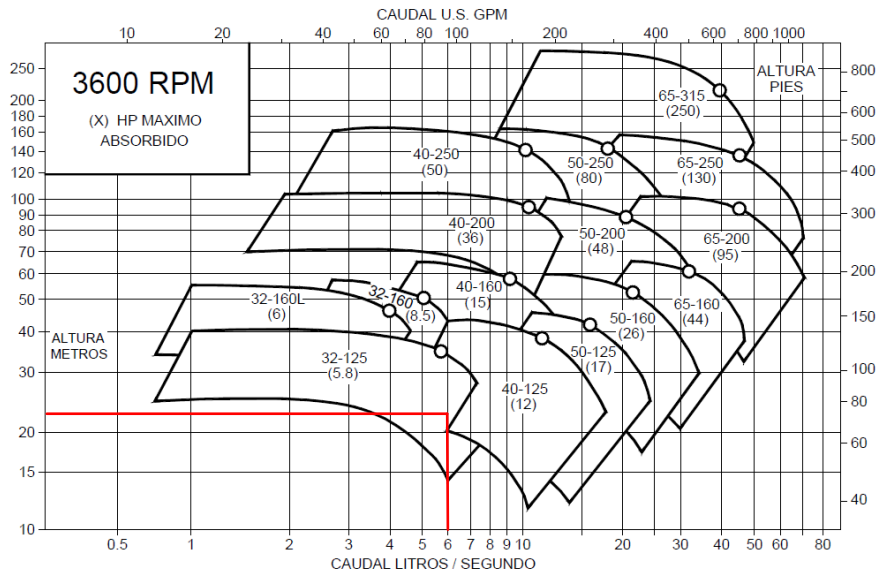
$$P_B = \frac{5.8389 \times 10^{-3} \times 999.7 \times 9.81 \times 22.8897}{746 \times 70 \%}$$

$$P_B = 2.51 \text{ HP}$$

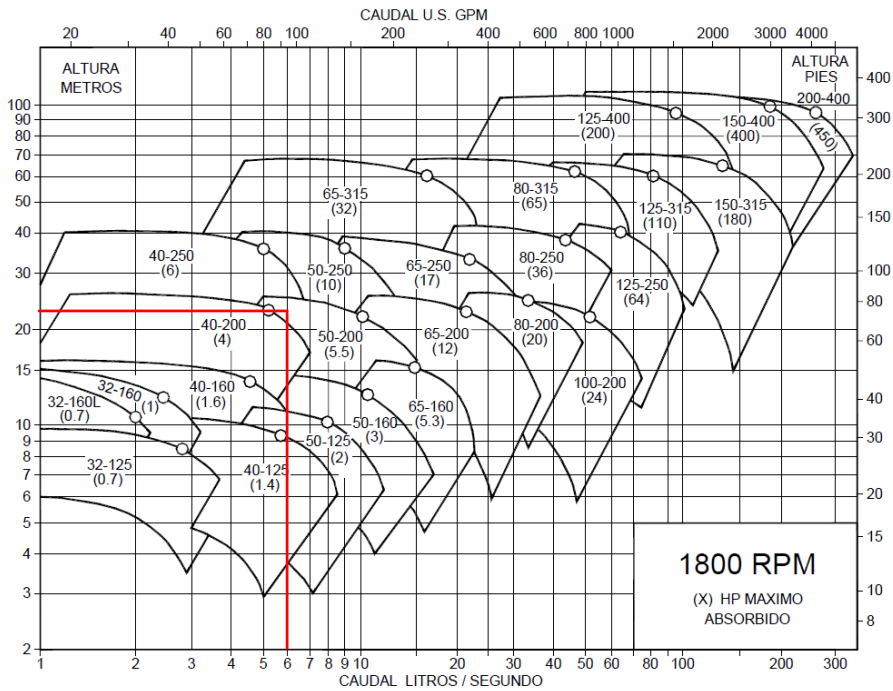
i. Selección de la Bomba.

Para la selección de la bomba se utiliza el catálogo de Hidrosta bomba centrífuga ISO 2858. Para facilitar la lectura de los gráficos los datos de entrada son redondeados al inmediato superior, estos son:

- $Q = 6 \text{ L/s}$
- $H = 23 \text{ m}$



**Figura 39. Rangos de operación 60Hz/3600 rpm**  
Tomada de Hidrosta catálogo I (25)



**Figura 40. Rangos de operación 60 Hz/1800 rpm**  
Tomada de Hidrosta catálogo I (25)

De las figuras 39 y 40, se tiene dos opciones para la selección de la bomba, estos se someterán al análisis de NPSH para determinar la alternativa óptima.

j. Bomba 32-125.

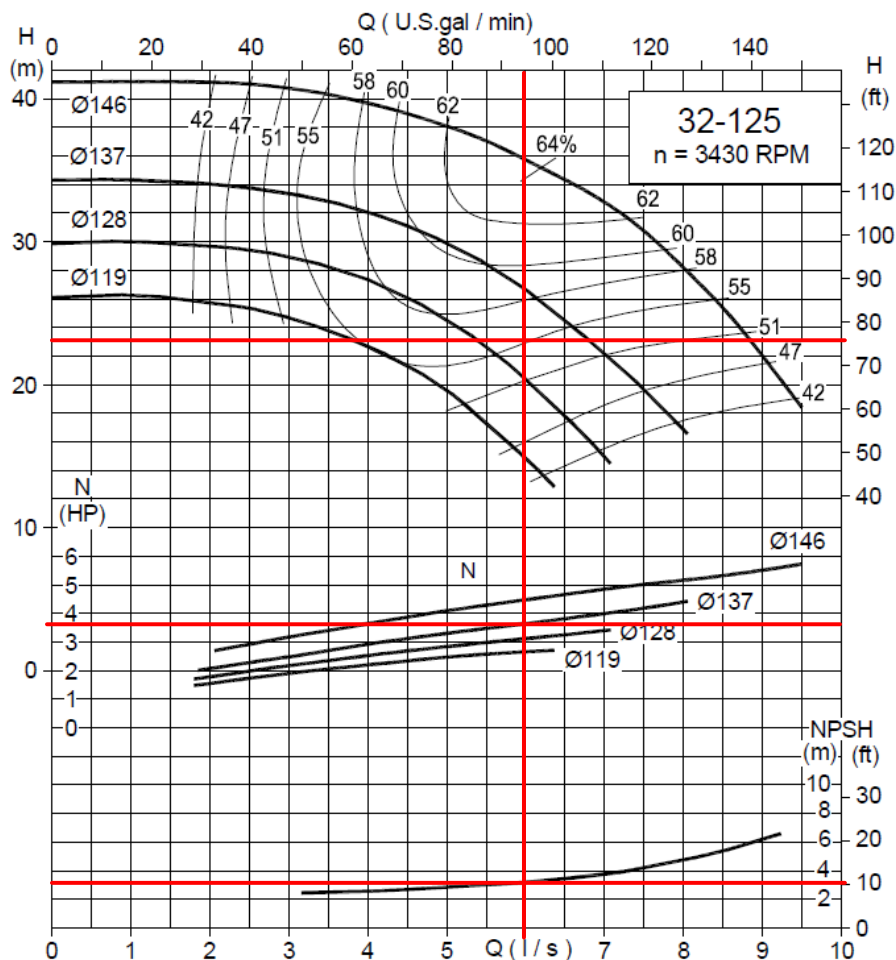


Figura 41. Curva de performance 32-125 / 3430 rpm  
Tomada de Hidrostat catálogo I (25)

De la figura 41, las características de la bomba seleccionada son:

Tabla 17. Características de bomba 32-125/3430 rpm  
Bomba 32-125

<b>n</b>	3430	rpm
<b>Impulsor</b>	137	mm
<b>Eficiencia</b>	56	%
<b>Potencia</b>	3.6	HP
<b>NPSH</b>	3	m



k. Bomba 50-200.

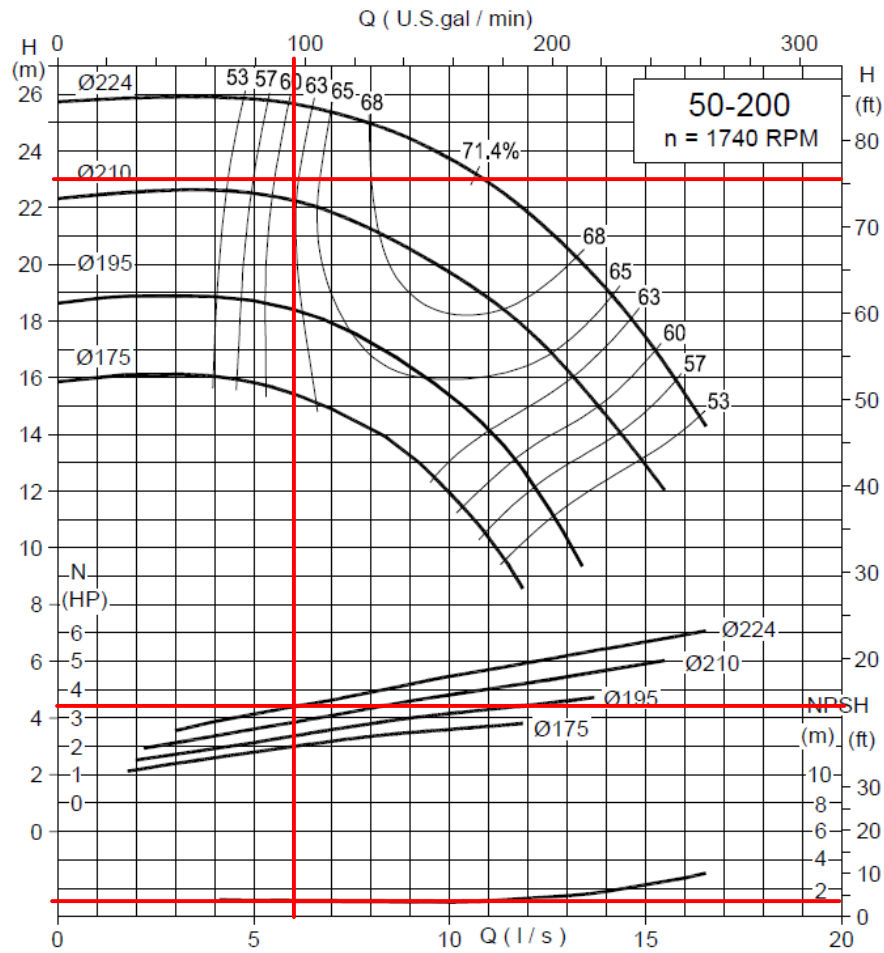


Figura 42. Curva de performance 50-200 / 1740 rpm  
Tomada de Hidrostral catálogo I (25)

De la figura 41, las características de la bomba seleccionada son:

Tabla 18. Características de bomba 50-200/1740 rpm  
Bomba 50-200

<b>n</b>	1740	rpm
<b>Impulsor</b>	224	mm
<b>Eficiencia</b>	62	%
<b>Potencia</b>	3.2	HP
<b>NPSH</b>	1.2	m

l. Análisis de Cavitación.

Para hallar la altura neta de succión disponible NPSH(d), se tiene la siguiente ecuación:

$$NPSH_d = 10^5 \times \frac{P_l - P_v}{\rho \times g} \pm H_a - h_a \quad (29)$$

Donde:

$P_l$ : presión sobre el líquido en el depósito (bar)

$P_v$ : presión de vapor a una temperatura determinada (bar)

$\rho$ : densidad ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )

$g$ : gravedad ( $9.81 \text{ m}/\text{s}^2$ )

$H_a$ : altura de succión en carga o aspiración (m)

$h_a$ : pérdida de carga en línea de succión (m)

- La presión sobre el líquido, al ser un tanque abierto será la presión atmosférica, para efectos de corrección por la altura se tiene:

$$P_{atm(mca)} = 10.33 - \frac{\text{altitud (m)}}{900} \quad (30)$$

El distrito de La Unión Leticia tiene una altura de 3520 m s. n. m.

Reemplazando en la ecuación se tiene:

$$P_{atm(mca)} = 10.33 - \frac{3520}{900}$$

$$P_{atm(mca)} = 6.4189$$

$$P_{atm} = 0.6419 \text{ bar}$$

- Por otro lado, de la tabla 11, se tiene que la presión de vapor del agua a  $10^\circ\text{C}$  es 1.2276 KPa (0.0123 bar).

Entonces, reemplazando en la ecuación se tiene:

$$NPSH_d = 10^5 \times \frac{0.6419 - 0.0123}{999.7 \times 9.81} \pm 0.423 - 3.0447$$

$$NPSH_d = 3.7982 \text{ m}$$

Ambas alternativas cumplen con la condición:

$$NPSH_d \geq NPSH_r + 0.5$$

Sin embargo, se optó por seleccionar la bomba 50-200, ver tabla 18, ya que su altura neta positiva de succión requerida es mucho menor. Además, presenta mayor eficiencia de trabajo y una potencia ligeramente menor, que beneficiará en el costo de operación.

#### 4.3.1.5 Diseño del Circuito Eléctrico.

Se diseñó circuitos independientes para el accionamiento de bomba y faja transportadora. A continuación, se detalla los elementos utilizados para cada circuito y su funcionamiento:

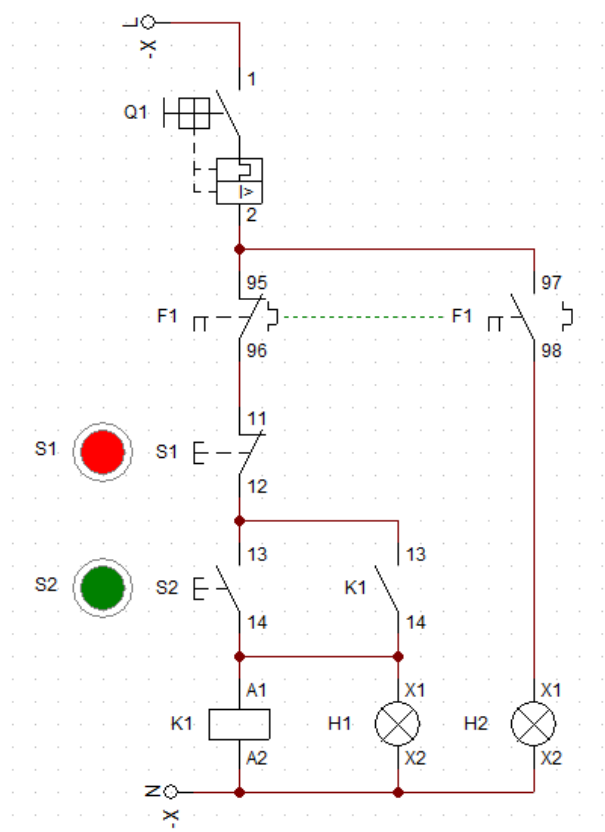
**Tabla 19. Elemento del circuito de potencia-mando de la bomba**

Descripción	Nomenclatura	Tipo	Funcionamiento
Encendido	S2,S4	Pulsador NA	Cierra el circuito electrico energizando el sistema
Apagado	S1,S3	Pulsador NC	Abre el circuito desenergizando el sistema
Motor	K1,K2	Contactador	Acciona los motores asignados respectivamente
Señal funcionamiento	H1,H3	Piloto verde	Indica con una luz verde la puesta en marcha de los motores
Señal falla	H2,H4	Piloto rojo	Indica la detencion del motor asignado
Rele termico	F1,F2	Electromecánico	Protege al motor de sobrecargas
Disyuntor termomagnetico	Q1	Termomagnetico	Corta el paso de la corriente cuando supera el limite determinado

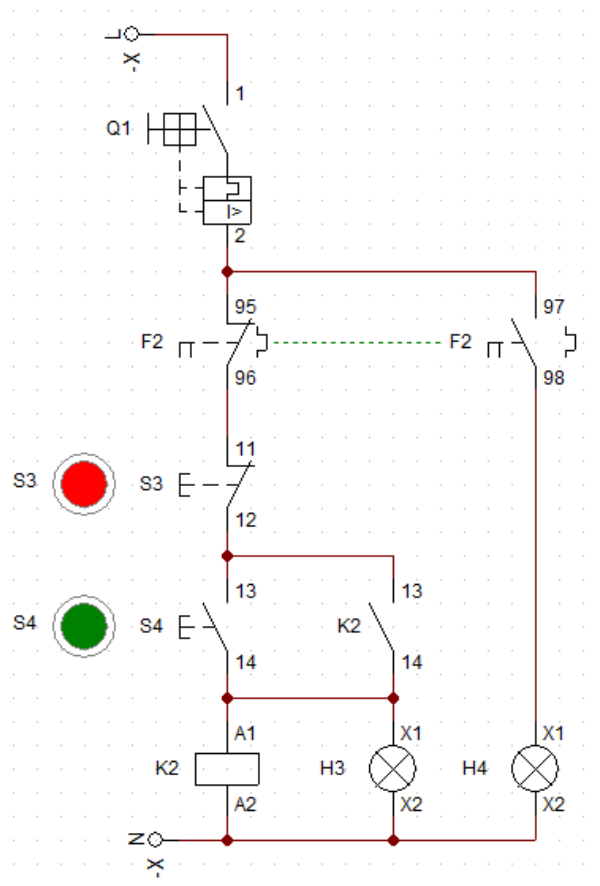
##### a) Circuito de Mando.

El circuito de mando se encarga de controlar al circuito de potencia por medio de sus elementos.

A continuación, se presentan los circuitos de mando diseñados:



*Figura 43. Circuito de mando - bomba*

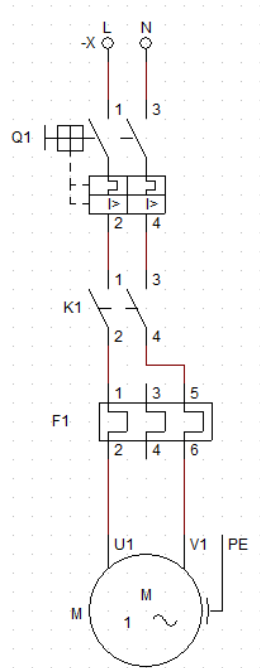


**Figura 44. Circuito de mando – faja**

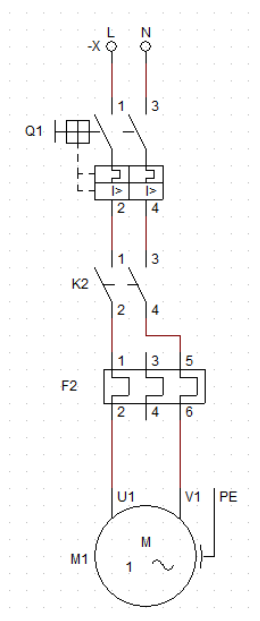
**b) Circuito de Potencia.**

El circuito de potencia es donde se presenta el mayor consumo de corriente debido a su funcionamiento.

A continuación, se presentan los circuitos de potencia diseñados para el prototipo:



**Figura 45. Circuito de potencia – bomba**



**Figura 46. Circuito de potencia – faja**

#### 4.3.1.6 Planos.

Los planos son elaborados de acuerdo con las normativas:

- NTP 01.100.01 Dibujo técnico en general
- UNE 1032 Principios generales de representación
- UNE-EN ISO 2553:2014 Representación simbólica de uniones soldadas
- AWS D1.1 Código de soldadura estructural

Ver planos en anexo 5.

#### 4.3.1.7 Lista de Materiales.

Tabla 20. Lista de materiales

Ítem	Descripción	Cantidad
1	Tubo cuadrado Ac. inox 1.5" x 0.095" x 6 m	3 unid.
2	Plancha Ac. inox 1/16" x 4' x 8'	2 unid.
3	Bomba centrífuga 3.2 HP	1 unid.
4	Tubo Ac. inox Ø2" x 400 mm	2 unid.
5	Tubo Ac inox Ø1" x 2.7 mm x 6 m	1 unid.
6	Lona 300 mm x 1900 mm	1 unid.
7	Motorreductor 1HP/ i 1:100	1 unid.
8	Polea tipo V Ø 2.5"	2 unid.
9	Tubo Ac inox Ø2" x 2.7 mm x 6 m	1 unid.
10	UCP 204-12 WHX	2 unid.
11	Tamiz inox N.º20 800 mm x 626 mm	1 unid.
12	Tamiz inox 10 cm 800 mm x 626 mm	1 unid.
13	Codo 90° x 2"	2 unid.
14	Válvula antirretorno Ø2"	1 unid.
15	Unión T 2"	1 unid.
16	Válvula de bola 2"	1 unid.
17	Unión niple 2"	4 unid.
18	Válvula de bola 1"	6 unid.
19	Codo 90° x 1"	8 unid.
20	Unión T 1"	6 unid.
21	Codo 40° 1"	4 unid.
22	Unión niple 1"	9 unid.
23	Tablero eléctrico 20 x 30 x 10	1 unid.
24	Contactador NXC-12	2 unid.
25	Contactador auxiliar NXR-25	2 unid.
26	Pulsador NC	2 unid.
27	Parada de emergencia	1 unid.
28	Pulsador NO	2 unid.
29	Termomagnético C32	1 unid.
30	Piloto verde	2 unid.
31	Piloto rojo	2 unid.

## **Capítulo V**

### **Construcción**

#### **5.1 Construcción del Prototipo**

La construcción del prototipo se realiza en un taller mecánico para tener facilidades en la disponibilidad de equipos y herramientas necesarias, así mismo, los elementos del prototipo de lavadora de espinacas se construyen de acuerdo con los planos presentados en el anexo 4.

Los elementos y materiales por utilizar en la elaboración deben tener disponibilidad en el mercado local.

##### **5.1.1 Construcción.**

Para la construcción del prototipo de lavadora de espinacas se requiere los siguientes ítems:

- a) Máquinas y herramientas
- b) Instrumentos de medición
- c) Elementos seleccionados y normalizados
- d) Elementos manufacturados

El proceso de construcción puede realizarse en cualquier taller que cuente con equipos mecánicos y herramientas básicas, debido a la simplicidad de sus componentes que requieren corte, plegado y soldadura.



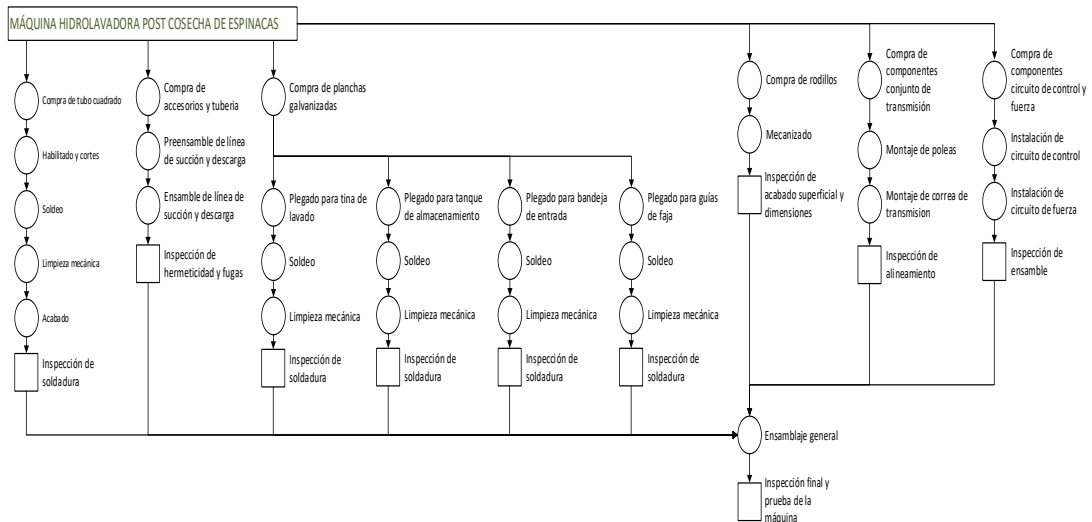
### 5.1.1.1 Exigencias para la Construcción del Prototipo.

A continuación, se detalla las exigencias mínimas a tener para la construcción del prototipo de lavadora de espinacas.

**Tabla 21. Exigencias para la construcción de la lavadora de espinacas**

Maquinas	Herramientas	Instrumentos de medicion
Cizalla	Brocas	Vernier
Esmeril	Lima	Nivel
Plegadora	Martillo	Escuadra
Equipo de soldadura	Rayador	Flexometro
Equipo de pintura	Arco de sierra	Compas

### 5.1.1.2 Diagrama de Flujo de Proceso de Fabricación.



**Figura 47. Diagrama de flujo de proceso de fabricación**



**Figura 48. Plegado tina de lavado**



*Figura 49. Soldeo tina de lavado*



*Figura 50. Montaje tina de lavado – bastidor*



*Figura 51. Fabricación tanque de almacenamiento*



*Figura 52. Ensamble faja de descarga*



*Figura 53. Ensamble circuito de control*

## 5.2 Pruebas y Resultados.



*Figura 54. Prueba de funcionamiento*



*Figura 55. Inspección de lavado de espinacas*



*Figura 56. Inspección de ingreso de espinacas*



*Figura 57. Zaranda de filtrado de residuos*

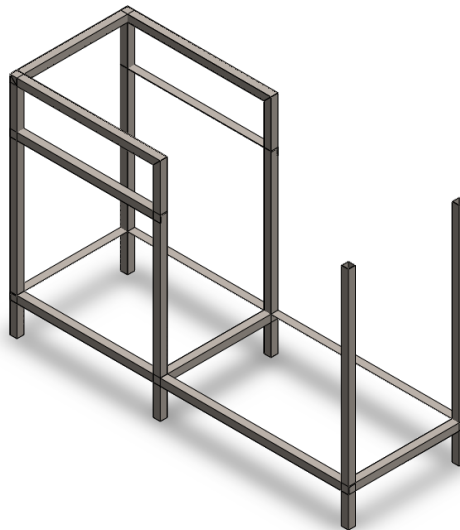


*Figura 58. Producto final*

## **5.2.1. Evaluación.**

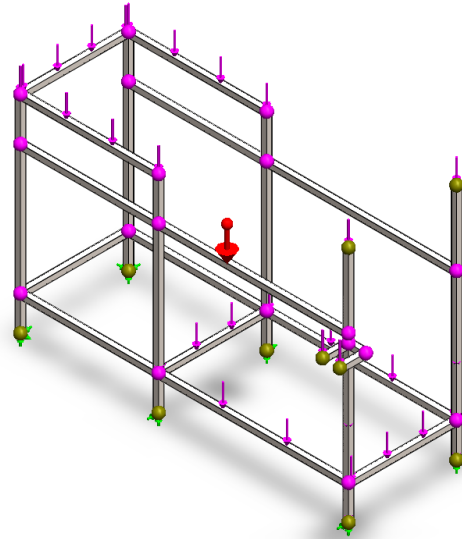
### **5.2.1.1. Análisis Estructural del Bastidor FEA.**

El bastidor es la estructura que soporta las cargas puntuales y distribuidas en el prototipo.



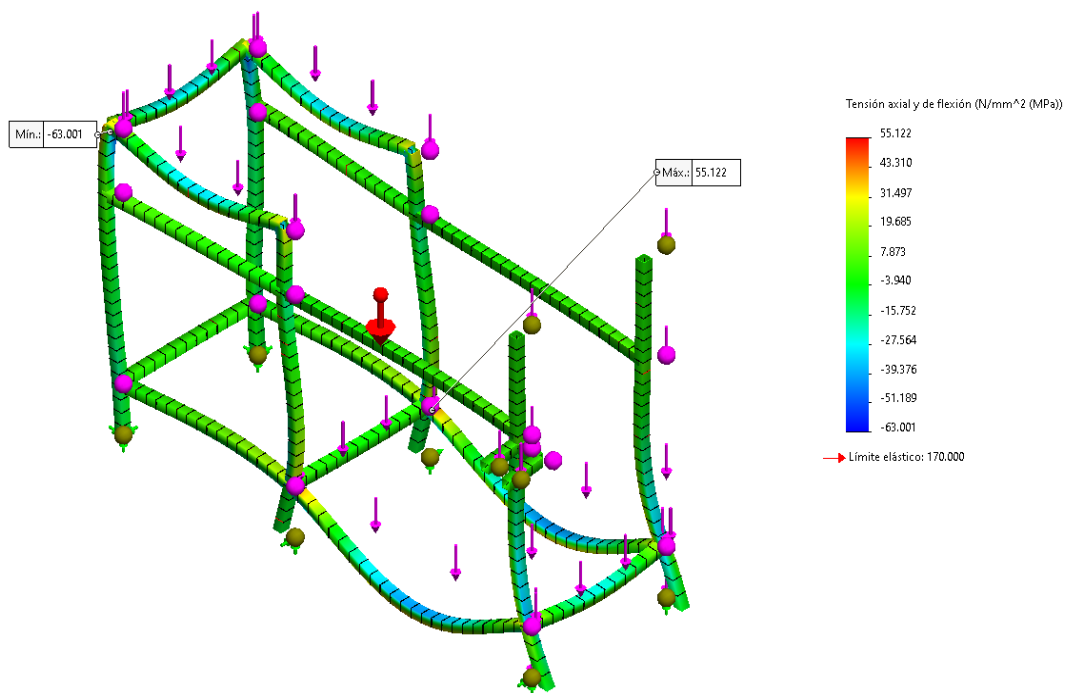
*Figura 59. Bastidor del prototipo de lavadora de espinacas*

Se realizó el análisis de elementos finitos a través del *software* SolidWorks 2020, aplicando las cargas a las que estará sometido.



**Figura 60. Cargas aplicadas en el bastidor**

a) Tensiones – Bastidor.



**Figura 61. Tensión máxima y mínima – bastidor**

Se observa que la tensión máxima 63 MPa no supera al límite elástico del material 170 MPa, por lo que se puede decir que el modelo en simulación es válido.

b) Desplazamiento – Bastidor.

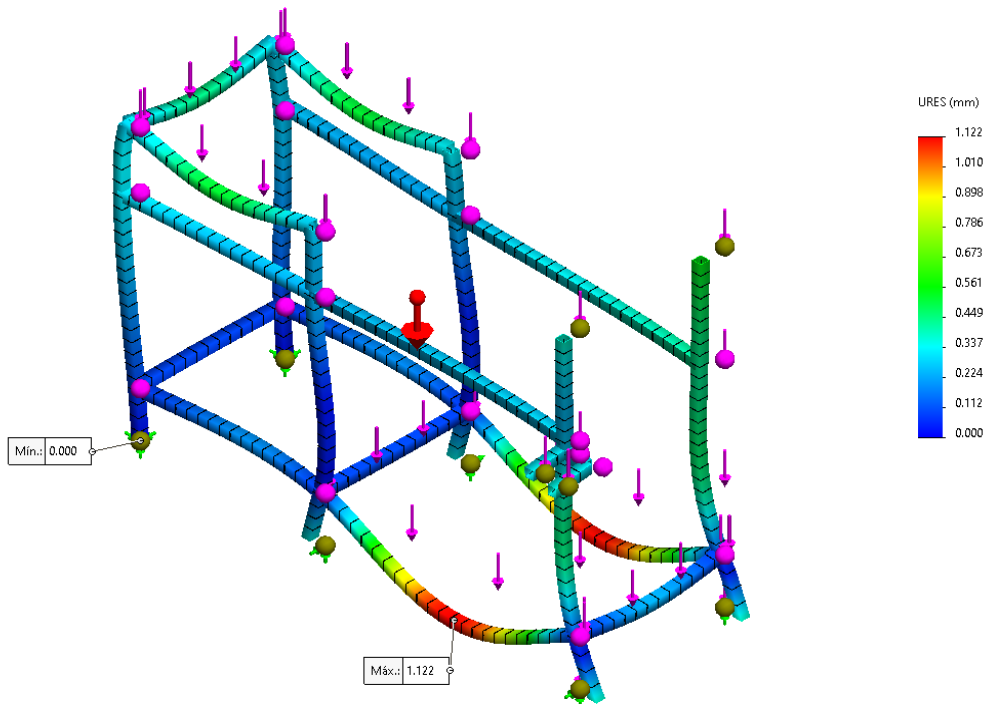


Figura 62. Desplazamiento máximo y mínimo – bastidor

Se observa que el desplazamiento máximo es 1.12 mm en la viga inferior debido a la carga del tanque de almacenamiento.

c) Factor de Seguridad – Bastidor.

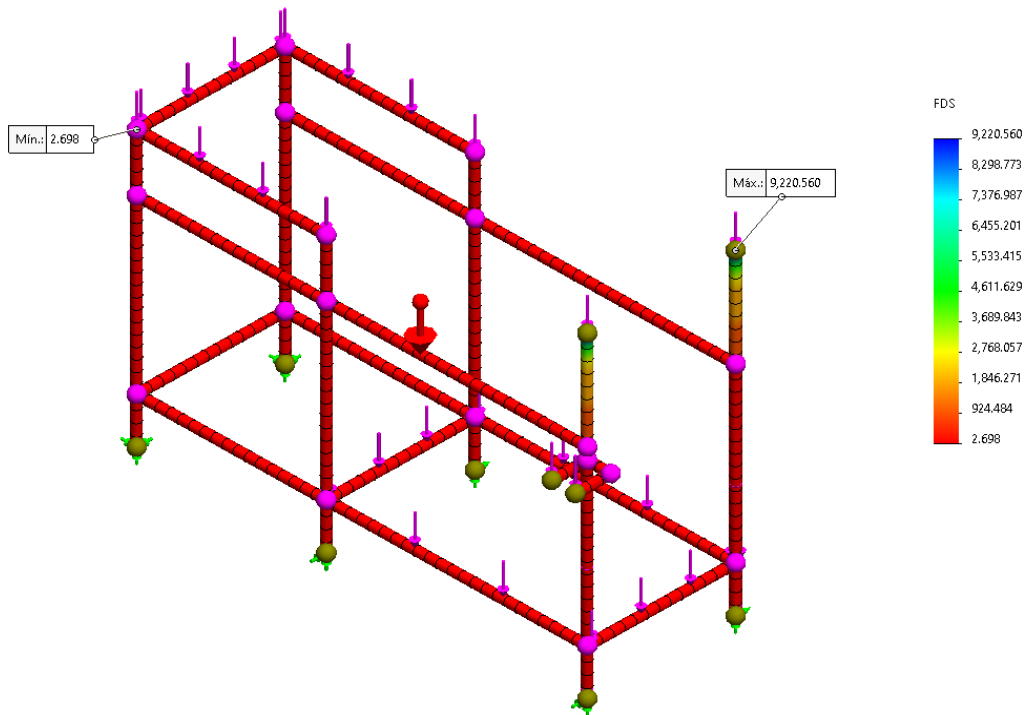


Figura 63. Factor se seguridad – bastidor

El factor de seguridad mínimo se presenta en el punto de tensión máxima, así mismo, se observa que su valor es 2.698. Por lo que se concluye que con base en el criterio mecánico, la estructura soportará las cargas sometidas.

## **5.2.2. Documentación.**

### **5.2.2.1. Características Generales.**

El prototipo de lavadora de espinacas ha sido diseñado para lavar espinacas poscosecha que tengan tiempo máximo de 12 horas de haber sido retiradas de la tierra, debido a los efectos que la exposición al sol o el tiempo en apilamiento puedan generar en las hojas, de exceder el tiempo estimado, el diseñador no se responsabilizará por la calidad de lavado o calidad del producto final.

- a) Bomba de recirculación: 3.2 HP
- b) Tubería de descarga: 1 in
- c) Tubería de succión: 2 in

### **5.2.2.2. Funcionamiento del Prototipo.**

El principio de funcionamiento del prototipo de lavadora de espinacas, parte desde la descarga de espinacas en la tolva de alimentación, de la que por gravedad caen hacia la tina de lavado, luego son desplazadas por medio de un flujo generado por los inyectores en dirección angular hacia la boca de descarga, durante el desplazamiento las espinacas están expuestas a flujos turbulentos de agua que ayudan a desprender los residuos de las hojas sin dañarlas, a la salida de la tina de lavado las espinacas caen hacia una faja que permite la separación de las espinacas y el agua, las espinacas son transportadas por la faja hacia la recepción final del producto, mientras que el agua cae hacia un sistema de filtros y luego al tanque de almacenamiento desde donde será recirculado por medio de una bomba hacia el sistema de lavado.

### **5.2.2.3. Operación del Prototipo.**

A continuación, se detalla el procedimiento de buen uso del prototipo para evitar fallas.

#### **a) Verificar Condiciones de Arranque.**

Antes de encender el equipo se debe realizar el siguiente procedimiento.

1. Realizar *checklist*.
2. Verificar el sistema eléctrico de mando apagado.



3. Verificar que la tina de lavado, tanque de almacenamiento, filtros, faja transportadora y tuberías estén libres de objetos.
4. Verificar elementos del prototipo correctamente instalados y sujetos.

*b) Arranque.*

Para encender correctamente el prototipo se debe seguir el siguiente procedimiento:

1. Abastecer de agua la tina de lavado y tanque de almacenamiento.
2. Energizar el sistema eléctrico.
3. Abrir las válvulas de inyectores completamente.
4. Encender la bomba de recirculación de agua.
5. Encender la faja transportadora de salida.
6. Abastecer de espinacas hacia la tina de lavado.

*c) Parada.*

Para apagar correctamente el prototipo se debe seguir el siguiente procedimiento:

1. Apagar bomba de recirculación.
2. Cerrar válvulas de inyectores.
3. Apagar faja transportadora de salida.
4. Desenergizar totalmente el prototipo.
5. Abrir válvulas de limpieza de tina de lavado.
6. Retirar residuos sobrantes de la tina de lavado.
7. Almacenar y cubrir el equipo de la intemperie.

**5.2.2.4. Mantenimiento.**

Con el objetivo de prolongar la vida útil del prototipo, se determinan procedimientos para las rutinas de mantenimiento.

Para realizar el mantenimiento se deben utilizar los implementos de seguridad y garantizar las condiciones para ejecutarlas.

Los mantenimientos considerados según frecuencia son:

*a) Mantenimiento Diario.*

Este mantenimiento se debe ejecutar antes de iniciar la operación del prototipo.

*b) Mantenimiento Mensual.*

El mantenimiento mensual se planifica con el objetivo de prevenir fallas futuras en los sistemas.

A continuación, se detalla una tabla de mantenimiento general, necesario para garantizar el buen funcionamiento del prototipo.

**Tabla 22. Lista de mantenimiento general**

<b>Característica</b>	<b>Frecuencia</b>	<b>Acción</b>	<b>Responsable</b>
Bastidor	Diaria	Para conservar el prototipo en buen estado, se debe realizar la limpieza de áreas externas y área de trabajo antes de iniciar la operación del equipo.	Operador
Sistema de lavado	Mensual	Se realiza la operación del equipo en vacío con el fin de verificar el correcto funcionamiento.	Operador
Sistema eléctrico	Diaria	Al encender el prototipo verificar que las lámparas de señalización funcionen correctamente	Operador
Tubería	Semanal	Verificar que las tuberías estén libres de desgastes y corrosión	
Bomba	Diaria	Examinar si existen fugas en las bridas, fisuras, desgates o partes oxidadas.	Operador
	Mensual	Examinar y reparar sellos, lubricar conjuntos según especificación del fabricante, inspeccionar sello mecánico, comprobar acoplamientos, eliminar acumulación de suciedad en el motor.	Técnico
Faja	Mensual	Revisar la faja con un tensiómetro para medir la fuerza de flexión y evitar pérdidas de transmisión	Operador
Chumacera	Semanal	Lubricar las chumaceras	Operador
Tanque de almacenamiento	Diario	Verificar limpieza de los filtros, eliminar impurezas del tanque.	Operador

**5.2.2.5. Costos de Fabricación.**

A continuación, se detalla una tabla con los materiales para la fabricación.

**Tabla 23. Costos de fabricación**

Ítem	Descripción	Cantidad	Precio unitario	Subtotal
<b>1.1 Fabricación de bastidor</b>				
	Tubo Ac. inox LAC 1.5" x 0.095"	3	unid. S/ 83.00	S/ 249.00
<b>1.2 Fabricación de faja de descarga</b>				
	Grampas #27 para fajas Whale	2	unid. S/ 8.00	S/ 16.00
	Correa de transmisión	1	unid. S/ 12.00	S/ 12.00
	Poleas 2 1/2" x 1A	2	unid. S/ 6.50	S/ 13.00
	Chumacera de pie 3/4" UCP204-12 WHX	2	unid. S/ 18.50	S/ 37.00
	Faja lona	1	unid. S/ 20.00	S/ 20.00
	Rodillos	2	unid. S/ 40.00	S/ 80.00
<b>1.3 Fabricación de tanque de agua, tina y guías de carga</b>				
	Plancha Inox 1.58x1200x2400	2	unid. S/ 408.20	S/ 816.40
	Tamiz malla Inox N.º20	1	m S/ 37.00	S/ 37.00
	Tamiz malla Inox 10 cm	1	m S/ 25.00	S/ 25.00
<b>1.4 Fabricación de línea de inyección de agua</b>				
	Tubo Ac. Inox redondo 2" x 2.7 mm	1	unid. S/ 64.00	S/ 64.00
	Tubo Ac. Inox redondo 1" x 2.7 mm	1	unid. S/ 55.00	S/ 55.00
	Accesorios tubería	1	glb S/ 550.00	S/ 550.00
	Bomba centrífuga 3.2 HP / 1740 rpm	1	unid. S/ 650.00	S/ 650.00
<b>1.5 Instalación tablero de control</b>				
	Accesorios circuito de control	1	glb S/ 297.00	S/ 297.00
<b>1.6 Misceláneos</b>				
	Kit perno hex Ac. inox G2 7/16" x 2 1/2"	8	unid. S/ 5.20	S/ 41.60
	Esmalte blanco + tinner	0.25	gal S/ 40.00	S/ 10.00
	Mecanizado	1	glb S/ 60.00	S/ 60.00
	Plegado	1	glb S/ 50.00	S/ 50.00
	Movilidad	1	glb S/ 95.00	S/ 95.00
	Soldador	1	glb S/ 160.00	S/ 160.00
	Pintor	1	glb S/ 60.00	S/ 60.00
<b>Total</b>				<b>S/ 3,398.00</b>

a) *Precio de Venta.*

Si bien para determinar el precio de venta adecuado de un producto, requiere de un estudio financiero más amplio, en esta sección se pretende realizar una aproximación a este valor, para poder comparar el valor de la máquina en el mercado.

**Tabla 24. Precio de venta**

Descripción	Subtotal
Costo de fabricación	S/ 3398.00
Costos indirectos	S/ 339.80
Costos múltiples	S/ 5097.00
<b>Total</b>	<b>S/ 8834.80</b>
<b>Total</b>	<b>\$ 2621.60</b>

De la tabla, los costos indirectos se calculan con base en el 10 % del costo de fabricación, este representa a los costos por movilidad, traslados, etc. Por otro lado, los costos múltiples referencian al costo por marca, logística, competencia, tendencias en el mercado, etc.

A continuación, se realiza una comparación del precio de venta del diseño planteado frente a los precios de diseños en el mercado internacional.

**Tabla 25. Comparación de precios de venta internacionales**

<b>Ítem</b>	<b>Equipo</b>	<b>Proveedor</b>	<b>Precio</b>
1	Máquina lavadora hidrodinámica poscosecha de espinacas	Diseño	\$ 2621.60
2	Lavadora de vegetales	Taizy	\$ 3500.00
3	Lavadora de alta presión	Taizy	\$ 3700.00
4	Lavadora con burbujas de aire multifuncional	Hitrees	\$ 4500.00

## Conclusiones

- Se diseñó y prototipó una máquina lavadora hidrodinámica poscosecha de espinacas para el distrito de La Unión Leticia, Tarma. Con capacidad de producción de 140.63 kg/h, faja de descarga con motorreductor de 1 HP/100 rpm, caudal de recirculación de 5.84 L/s y bomba de recirculación de 3.2 HP/1740 rpm. Véase sección 4.3.1.
- Se diseñó un prototipo de máquina lavadora hidrodinámica poscosecha de espinacas, mediante la aplicación de una metodología adaptada a partir de las metodologías establecidas por la norma alemana VDI 2221 y Ullman. Véase sección 3.1.
- Se fabricó el prototipo de una máquina lavadora hidrodinámica poscosecha de espinacas utilizando materiales alternativos para validar el funcionamiento. Se utilizaron perfiles de acero A-36 para el bastidor, planchas de acero galvanizado para la tina de lavado y tanque de almacenamiento, tuberías y accesorios PVC en el sistema de inyección. Los materiales utilizados cumplieron satisfactoriamente los requerimientos para operaciones de prueba. Véase sección 5.1.
- Se realizaron pruebas de funcionamiento y se valida el principio de funcionamiento debido a que durante la prueba se consiguió la limpieza y daño superficial mínimo en las hojas de espinacas. Además, se ejecutó un análisis estructural estático a través del *software* SolidWorks en un bastidor con tubo cuadrado de 1.5 x 0.095 pulgadas en acero inoxidable de bajo contenido de carbono, dando como resultado una tensión máxima de trabajo de 63 MPa, el cual no supera el límite elástico del material. Así mismo, se determinó un desplazamiento máximo de la estructura de 1.12 mm y factor de seguridad de 2.7. Véase sección 5.2.

## **Trabajos Futuros**

- El diseño del prototipo fue enfocado específicamente para lavar espinacas, sin embargo, puede ser utilizada para lavar cualquier tipo de hortaliza con superficie frágil como, lechuga, esparrago, etc.
- El prototipo fue elaborado con materiales que permitieron reducir al máximo el presupuesto, sin embargo, si se pretende desarrollar un equipo con el objetivo de llevarlo al mercado se deberá alinear a la norma internacional AISI 304, que establece el uso de acero inoxidable para el tratamiento de alimentos.
- En un trabajo futuro se deberá considerar un sistema de retorno para el reboce de agua en la tina de lavado, esto con el objetivo de reducir aún más las pérdidas de agua que se podrían generar por el exceso de llenado en la tina de lavado.

## Lista de Referencias

1. **BBC News.** ¿Cuales son las bondades de la espinaca? [En línea] BBC News, 25 de octubre de 2014. [Citado el: 18 de julio de 2021.]  
[https://www.bbc.com/mundo/noticias/2014/10/141024\\_salud\\_bondades\\_espinaca\\_finde\\_yv](https://www.bbc.com/mundo/noticias/2014/10/141024_salud_bondades_espinaca_finde_yv).
2. **KALENOK, Rocio.** infobae. *infobae*. [En línea] 27 de agosto de 2020. [Citado el: 18 de julio de 2021.]  
<https://www.infobae.com/mix5411/2020/08/27/vegetales-de-hojas-verdes-beneficios-y-propiedades/>.
3. **Diario Correo.** *Junín, en primer lugar como productor*. [En línea] 21 de abril de 2013. [Citado el: 18 de Julio de 2021.] <https://diariocorreo.pe/peru/junin-en-primer-lugar-como-productor-de-gran-103498/>.
4. **LORIA, Kevin.** Guía de seguridad de hojas verdes. [En línea] Consumer Reports, 27 de Enero de 2020. [Citado el: 18 de Julio de 2021.] <https://www.consumerreports.org/food-safety/leafy-greens-safety-guide/>.
5. **RIVARA, Gustavo.** Vital. [En línea] 25 de julio de 2018. [Citado el: 18 de julio de 2021.] <https://rpp.pe/vital/expertos/el-frio-enferma-la-relacion-de-las-bajas-temperaturas-y-las-infecciones-respiratorias-noticia-1138948>.
6. **BARRETO Castillo, Segundo Moisés; CUSTODIO AGAPITO, Ismael.** *Diseño de una maquina automatizada, para el lavado de zanahoria, en el centro poblado menor de Callanca, distrito de Monsefu, departamento de Lamabayeque*. Universidad Señor de Sipan. Pimentel : Repositorio USS, 2018. Tesis.
7. **REQUENA TORPOCO, José Martín.** *Diseño de un sistema de automatizacion de una planta de lavado de zanahoria de 10t/h*. Pontificia Universidad Catolica del Perú. Lima : Repositorio PUCP, 2012. Tesis.
8. **Fischer Agro.** Fischer Agro. [En línea] Fischer Agro, 2019. <https://www.fischer-peru.com/productos/frutas/faja-lavadora-nid-25>.
9. **HONG SAM, Luong; ANH SON, Tran.** *A Study on Application Of Ultrasonic Wave and Ozone Micro-Bubbles in Leafy Vegetables Washing*. Vietnam : s.n., 15 de Septiembre de 2020, Scientific.Net, Vol. 863, págs. 79-84. 1662-9795.
10. **BRÜCKNER, B.; GEYER, M.; SURDILOVIC, J.** *Critical points during handling of white asparagus (Asparagus officinalis L.)*. Bornim : s.n., 2018, ISHS Acta Horticulturae 1223, págs. 251-256.
11. **XUEFEI, MA, y otros.** *Design and Experiment on Washer For Whole-leaf Vegetables*. Beijing : s.n., 20 de agosto de 2018.

12. **Directo al Paladar.** Directo al Paladar el sabor de la vida. [En línea] 13 de octubre de 2020. [Citado el: 2021 de octubre de 18.]  
<https://www.directoalpaladar.com/recetario/todo-espinaca-propiedades-caracteristicas-como-cocinar-esta-verdura-temporada-recetas-incluidas>.
13. **Ministerio de Agricultura y Riego.** *Compendio estadístico Perú 2018*. s.l. Agrario, 2018. págs. 959, 972.
14. **NORTON, Robert.** *Diseño de maquinaria - Síntesis y análisis de máquinas y mecanismos*. Cuarta. Mexico : Mc Graw Hill, 2009. 0-07-312158-4.
15. **RODRÍGUEZ, Hermenegildo.** Ingemecánica. *Ingeniería, consultoría y formación*. [En línea] [Citado el: 15 de Junio de 2022.]  
<https://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn84.html>.
16. **MATAIX, Claudio.** *Turbomáquinas Hidráulicas: Turbinas hidráulicas, bombas, ventiladores*. Madrid : ICAI Madrid, 2009. 84-600-6662-2.
17. **FNMT.** *Clasificación y Tipos de Bombas*.
18. **POLO ENCINAS, Manuel.** *Turbomáquinas Hidráulicas Principios Fundamentales*. México : Limusa, 1980.
19. **MATAIX, Claudio.** *Mecánica de Fluidos y Máquinas Hidráulicas*. Madrid : Ediciones del Castillo S.A., 1982. 84-219-0175-3.
20. **CENGEL, Yunus A.; CIMBALA, John M.** *Mecánica de Fluidos Fundamentos y Aplicaciones. Mecánica de Fluidos Fundamentos y Aplicaciones*. Mexico : Mc Graw Hill, 2006, Vol. I.
21. **Ministerio de Trabajo y Promoción del Empleo.** Norma Básica de Ergonomía y de Procedimiento de Evaluación de Riesgo Disergonómico. *Aprueban la Norma Básica de Ergonomía y de Procedimiento de Evaluación de Riesgo Disergonómico*. Lima, Perú : s.n., 28 de Noviembre de 2008.
22. **Schneider Electric.** *Manual de Seguridad en Máquinas*. España : s.n.
23. **Hidacam Ingenieros SAS.** *Lavadora por inmersión*. [En línea] 2020. [Citado el: 23 de Septiembre de 2021.]  
<https://www.hidacamingenieros.com/lavadora-por-inmersion>.
24. **Distribuidora Imarca C.A.** *Lavadora de vegetales 10064*. [En línea] Distribuidora Imarca C.A. [Citado el: 5 de octubre de 2021.] <http://www.imarca.com.ve/Lavadora-general-de-Alimentos.php>.
25. **Hidrostral.** Bomba centrífuga ISO 2858. F *Catálogo I*. Diciembre de 2015. pág. 6.
26. **Comercial del Acero S. A.** *Catálogo de productos*.
27. **HABASIT AG.** *Cintas transportadoras Guía de ingeniería*. Switzerland : s. n.



## **Anexos**

Anexo 1  
Guías de Observación

<b>Etapas</b>	<b>Duracion</b>	<b>Herramientas</b>	<b>Equipo</b>	<b>Responsable</b>
Identificacion de angulo de inclinacion para espinacas	5 min	Flexometro	Tolva de alimentacion	J. O.
Controlar el tiempo de lavado artesanal de espinacas	15 min	Cronometro	Lavadora de espinacas	J. O.

Anexo 2  
Encuesta

**ENCUESTA DIRIGIDA A AGRICULTORES DEL DISTRITO DE LA UNION LETICIA,  
PROVINCIA DE TARMA, DEPARTAMENTO DE JUNIN**

Título de Proyecto de Investigación

**DISEÑO Y PROTOTIPADO DE UNA MÁQUINA LAVADORA HIDRODINAMICA POST  
COSECHA DE ESPINACAS PARA EL DISTRITO DE LA UNION LETICIA – TARMA**

Objetivo: Compilar información de producción de espinacas, que permitirá obtener parámetros principales y reales para el diseño de una maquina lavadora de espinacas.

**Instrucciones:** Marque la alternativa que crea conveniente.

1. Sexo
  - a) Masculino
  - b) Femenino
2. Nombre y Apellido  
.....
3. Edad  
.....
4. Ocupación  
.....
5. ¿Usted se dedica a la siembra de espinacas?
  - a) Si
  - b) No
6. ¿Qué cantidad de terreno utiliza para la siembra de espinacas?
  - a) Menor o igual a 1 Tongo
  - b) Entre 1 y 3 tongos
  - c) Mayor o igual a 3 tongos
7. ¿Cuántas veces al año cosecha espinacas?
  - a) 1 vez
  - b) 2 veces
  - c) Mas de 3 veces
8. Aproximadamente, ¿Cuántas jabas de espinacas produce un tongo de sembrío?
  - a) Menor o igual a 50 jabas
  - b) Entre 50 y 100 jabas
  - c) Mayor o igual a 100 jabas
9. Aproximadamente, ¿Cuántos kilogramos de espinaca tiene cada jaba?
  - a) Menor o igual a 10 Kg
  - b) Entre 10 y 20 Kg
  - c) Mayor o igual a 20 Kg
10. ¿Cuántas jabas de espinaca cosecha y lava en un día?
  - a) Menor o igual a 50 jabas
  - b) Entre 50 y 100 jabas
  - c) Mayor o igual a 100 jabas
11. Aproximadamente, ¿Cuánto es su ganancia aproximada en 1 kilogramo de espinacas, en temporadas bajas?
  - a) Menor o igual a 1 soles
  - b) Entre 1 y 3 soles
  - c) Mayor o igual a 3 soles

12. Aproximadamente, ¿Cuánto es su ganancia en 1 kilogramo de espinacas, en buena temporada?
- a) Menor o igual a 1 soles
  - b) Entre 1 y 3 soles
  - c) Mayor o igual a 3 soles
13. ¿Existe relación entre la calidad de lavado y el precio de venta de las espinacas?
- a) Si
  - b) No
14. ¿Qué técnicas de lavado conoce?
- a) Electromecánico
  - b) Mecánico
  - c) Artesanal/manual
  - d) otro
15. ¿Qué técnicas lavado utiliza?
- a) Electromecánico
  - b) Mecánico
  - c) Artesanal/manual
  - d) Otro
16. ¿Ha sufrido alguna enfermedad a consecuencia de realizar el lavado de espinacas?
- a) Respiratoria
  - b) Muscular
  - c) Articular
  - d) Dermatológica
  - e) Ninguna
17. ¿Conoce usted alguna maquina lavadora de espinacas?
- a) Si
  - b) No
- Si su respuesta a la anterior pregunta fue Si, mencione en que lugar (ciudad, distrito) está ubicada dicha máquina.
- .....
18. ¿Cree usted que un prototipo de maquina lavadora de espinacas reduciría el tiempo de lavado?
- a) Si
  - b) No
19. ¿Cree usted que un prototipo de maquina lavadora de espinacas mejoraría la calidad de lavado?
- a) Si
  - b) No
20. ¿Cree usted que sería recomendable la implementación de una máquina de lavado de espinacas en el proceso de post cosecha?
- a) Si
  - b) No
21. ¿Considera que la implementación de una maquina lavadora de espinacas generaría desempleo?
- a) Si
  - b) No

Anexo 3  
Diagrama de *Moody*

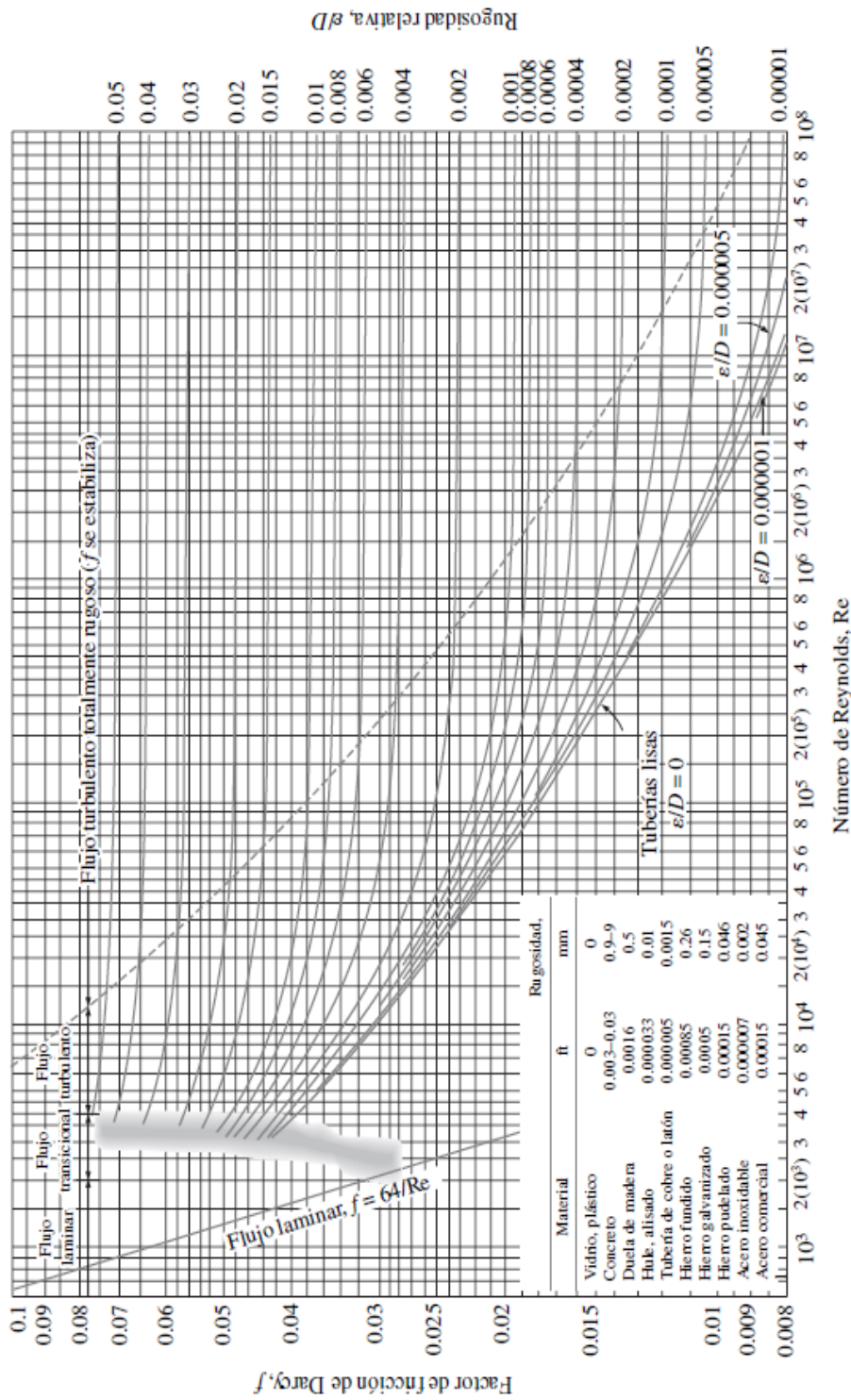


FIGURA A-12

El diagrama de *Moody* para el factor fricción para flujo totalmente desarrollado en tuberías circulares para usar en la relación de pérdida de carga  $h_L = f \frac{L}{D} \frac{V^2}{2g}$ . Los factores de fricción en el flujo turbulento se evalúan a partir de la ecuación de Colebrook  $\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log_{10} \left( \frac{\epsilon/D}{3.7} + \frac{2.51}{Re \sqrt{f}} \right)$ .

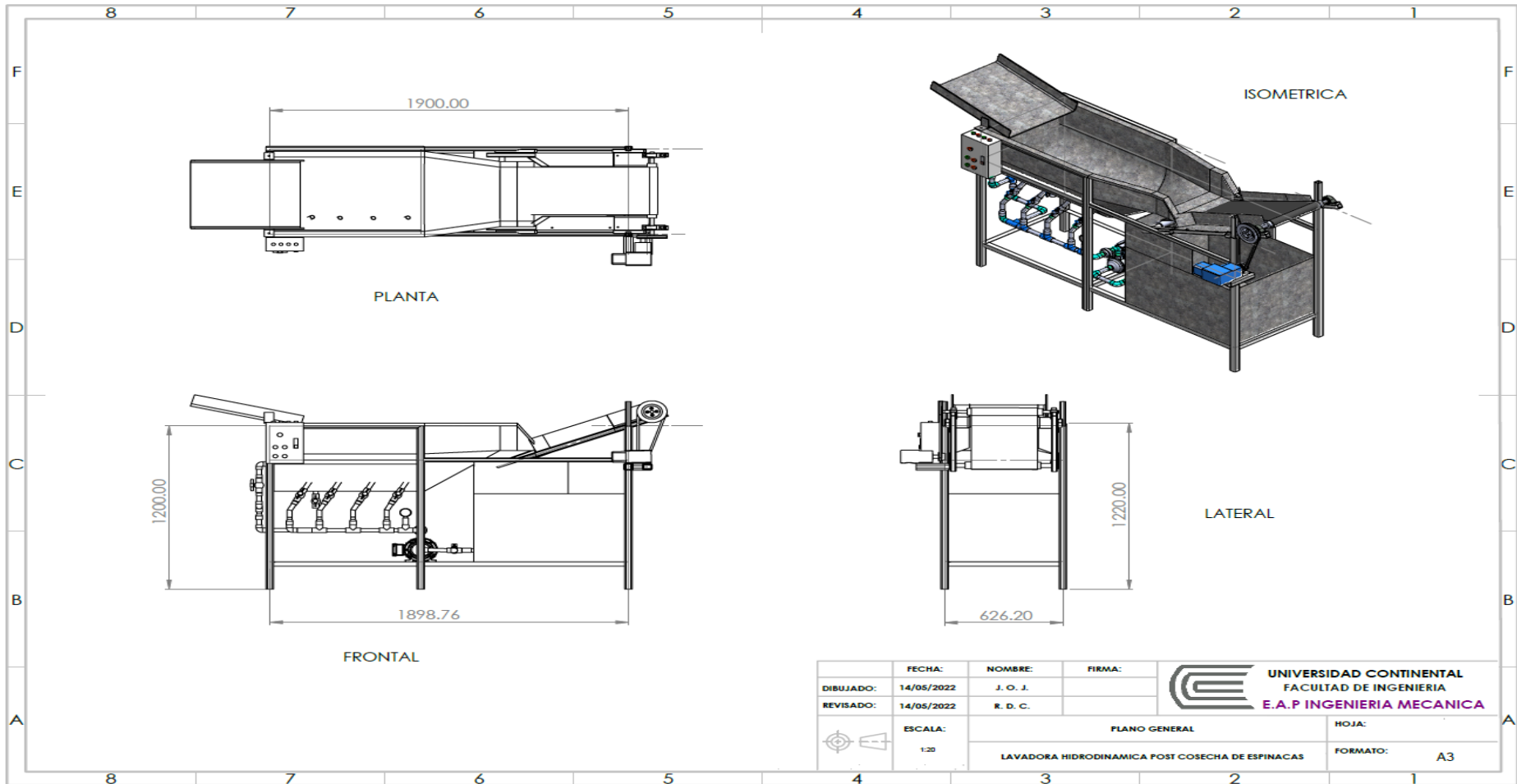
Anexo 4  
Tablas para cálculo de potencia de faja transportadora

Tabla 7. Factor de ancho de la banda, $C_b$								
Peso específico $\gamma$ ( $t/m^3$ )	Ancho de banda (mm)							
	300	400	500	650	800	1000	1200	1400
$\gamma \leq 1$	31	54	67	81	108	133	194	227
$1 < \gamma \leq 2$	36	59	76	92	126	187	277	320
$\gamma > 2$	-	65	86	103	144	241	360	414

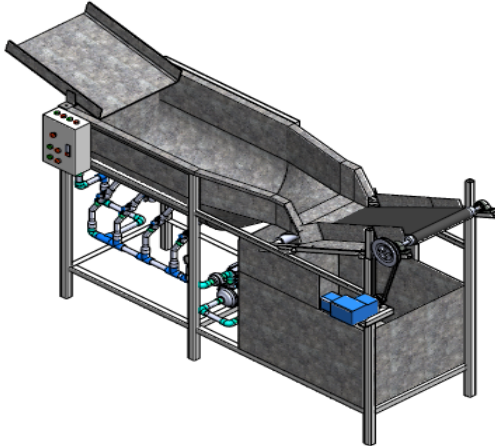
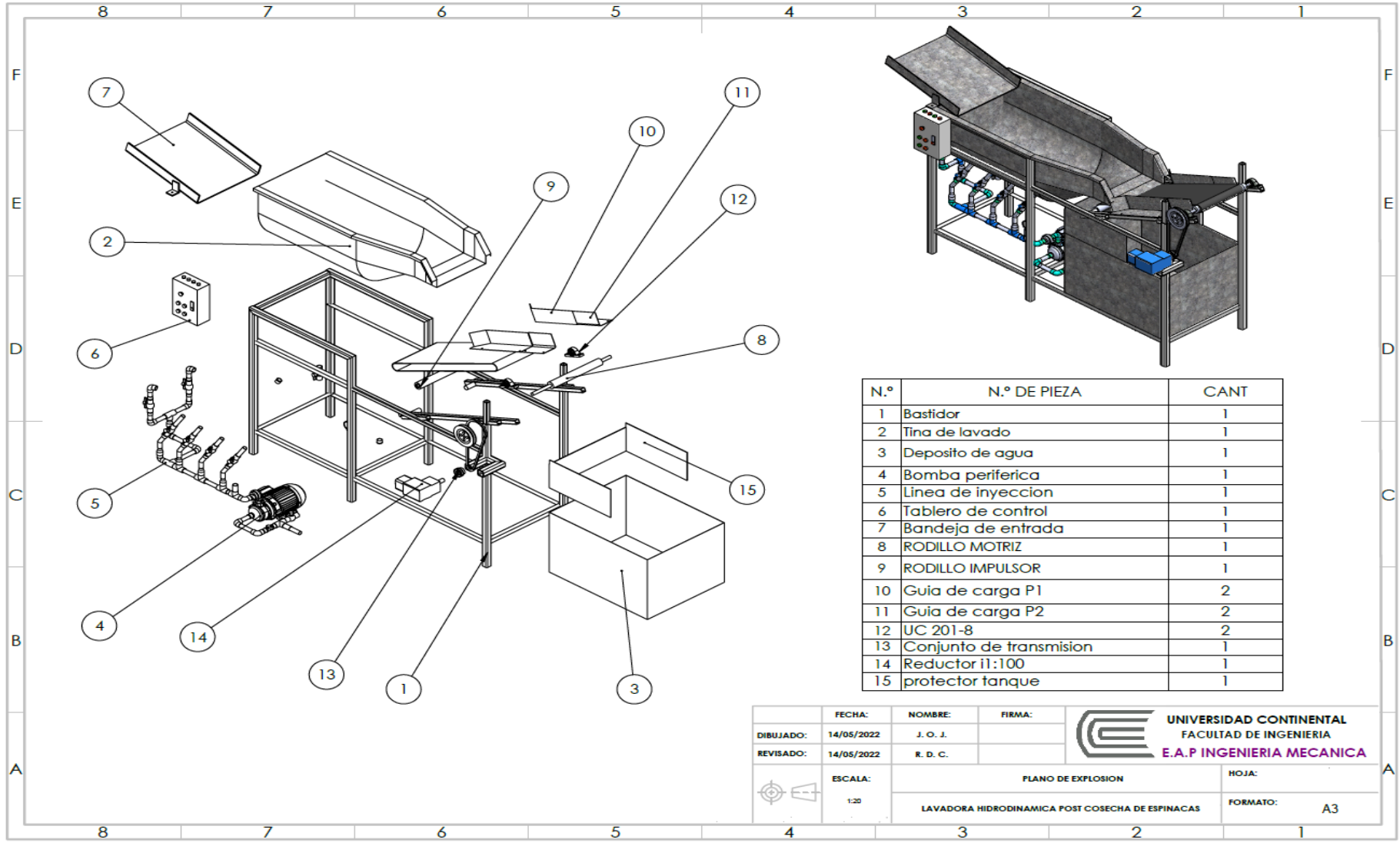
Tabla 8. Factor de longitud de la banda, $C_l$											
Longitud de banda (m)	32	40	50	63	80	90	100	150	200	250	300
$C_l$	222	192	167	145	119	109	103	77	63	53	47

Tabla 9. Factor de servicio, $K_f$	
Condiciones de trabajo	$K_f$
Favorables, buena alimentación, bajas velocidades	1,17
Normal, condiciones estándar	1
Desfavorables, baja temperatura y alta velocidad	0,74 - 0,87
Temperaturas extremadamente bajas	0,57

Anexo 5  
Planos




FECHA:	14/05/2022	NOMBRE:	J. O. J.	FIRMA:		 <b>UNIVERSIDAD CONTINENTAL</b> FACULTAD DE INGENIERIA E.A.P INGENIERIA MECANICA
DIBUJADO:	14/05/2022	REVISADO:	14/05/2022	R. D. C.		
ESCALA:	1:20	PLANO GENERAL LAVADORA HIDRODINAMICA POST COSECHA DE ESPINACAS			HOJA: FORMATO: A3	



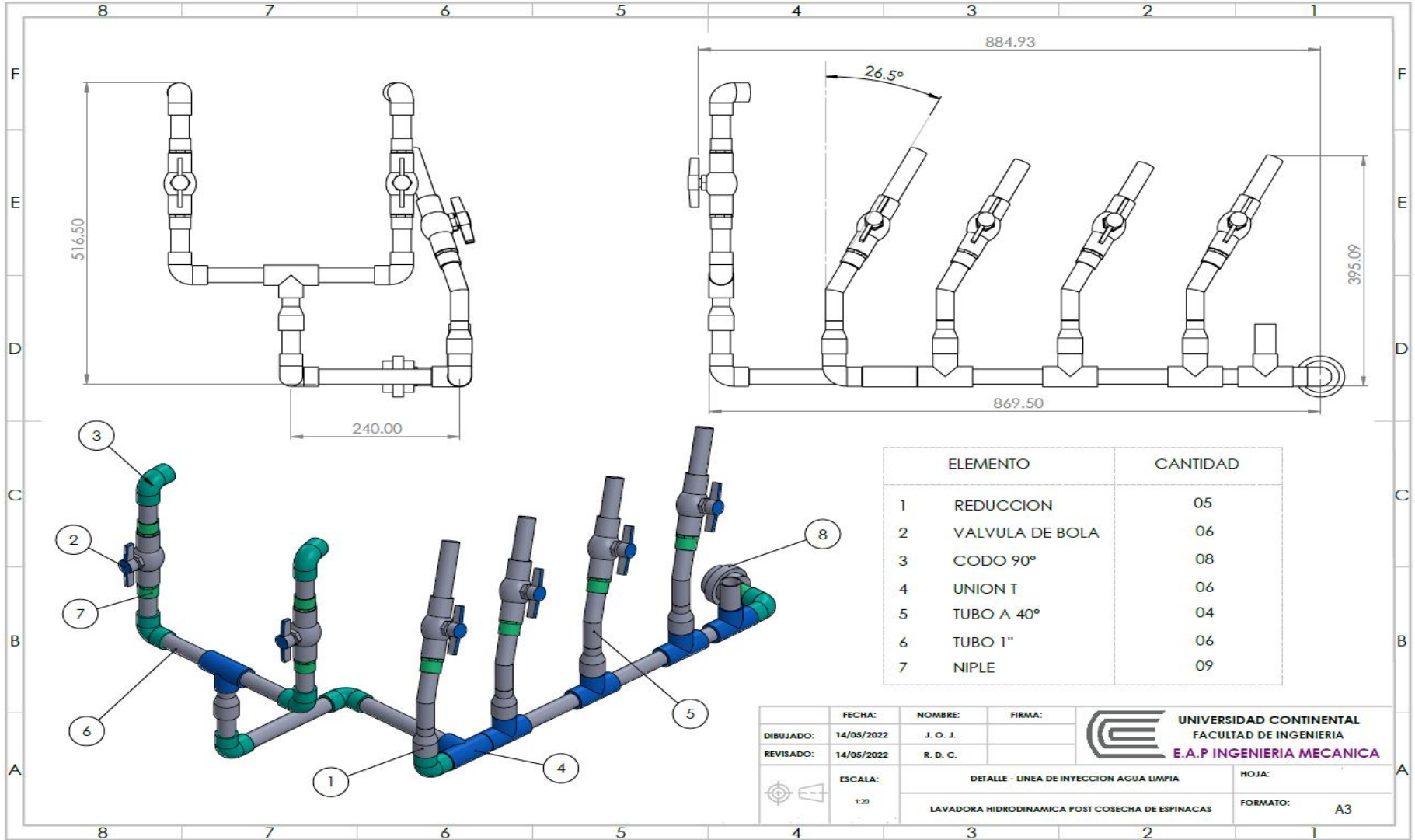
N.º	N.º DE PIEZA	CANT
1	Bastidor	1
2	Tina de lavado	1
3	Deposito de agua	1
4	Bomba periferica	1
5	Linea de inyeccion	1
6	Tablero de control	1
7	Bandeja de entrada	1
8	RODILLO MOTRIZ	1
9	RODILLO IMPULSOR	1
10	Guia de carga P1	2
11	Guia de carga P2	2
12	UC 201-8	2
13	Conjunto de transmision	1
14	Reductor i1:100	1
15	protector tanque	1

	FECHA:	NOMBRE:	FIRMA:
DIBUJADO:	14/05/2022	J. O. J.	
REVISADO:	14/05/2022	R. D. C.	
	ESCALA:	PLANO DE EXPLOSION	
	1:20	LAVADORA HIDRODINAMICA POST COSECHA DE ESPINACAS	


**UNIVERSIDAD CONTINENTAL**  
 FACULTAD DE INGENIERIA  
 E.A.P INGENIERIA MECANICA

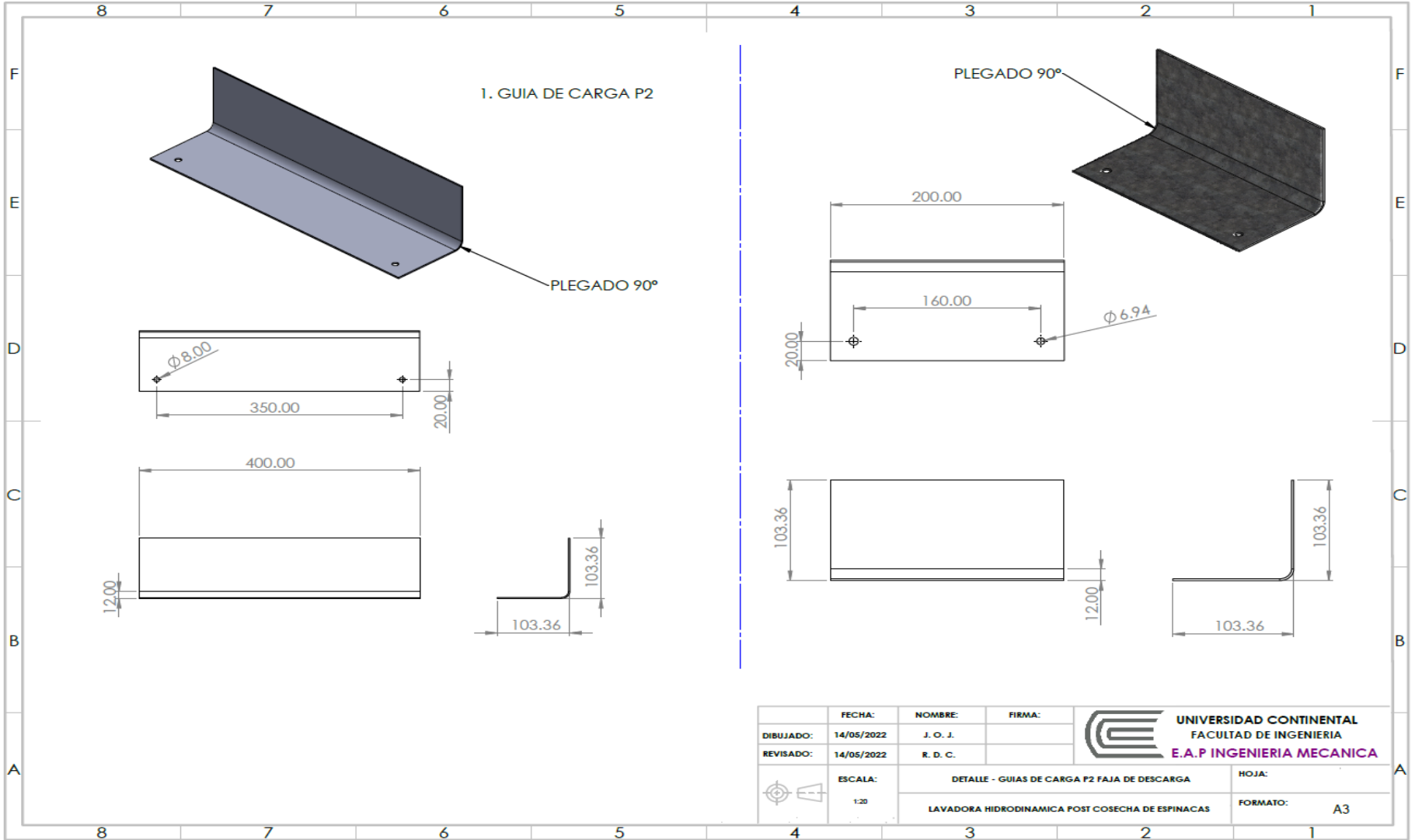
HOJA:  
 FORMATO: A3





ELEMENTO	CANTIDAD
1 REDUCCION	05
2 VALVULA DE BOLA	06
3 CODO 90°	08
4 UNION T	06
5 TUBO A 40°	04
6 TUBO 1"	06
7 NIPLE	09

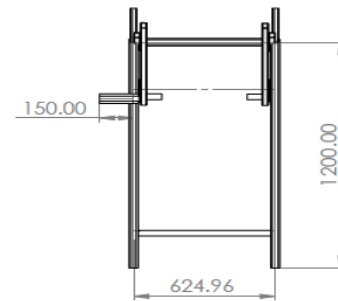
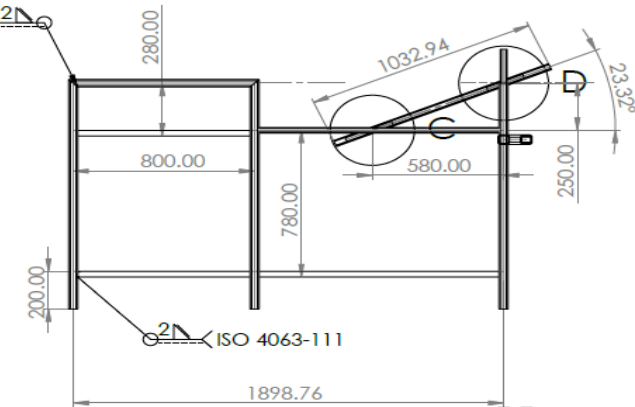
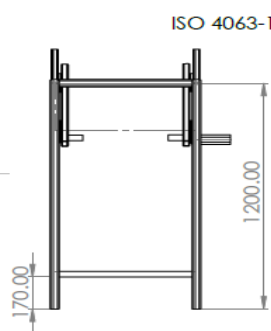
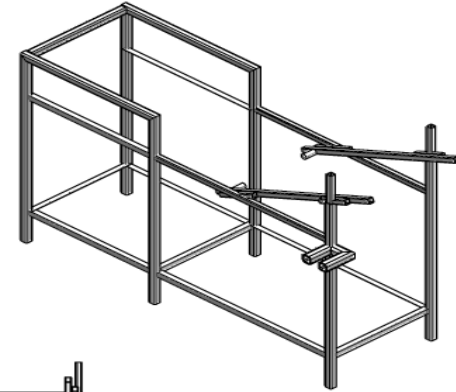
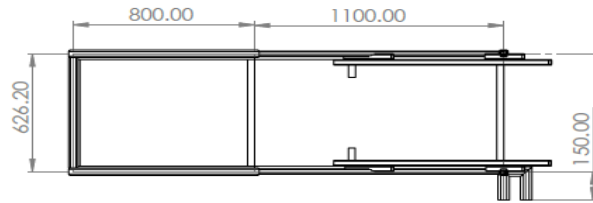
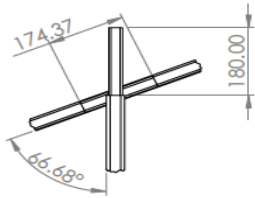
FECHA:	NOMBRE:	FIRMA:	 <b>UNIVERSIDAD CONTINENTAL</b> FACULTAD DE INGENIERIA <b>E.A.P INGENIERIA MECANICA</b>
DIBUJADO: 14/05/2022	J. O. J.		
REVISADO: 14/05/2022	R. D. C.		
ESCALA: 1:20	DETALLE - LINEA DE INYECCION AGUA LIMPIA		HOJA:
	LAVADORA HIDRODINAMICA POST COSECHA DE ESPINACAS		FORMATO: A3



	FECHA:	NOMBRE:	FIRMA:	 <b>UNIVERSIDAD CONTINENTAL</b> FACULTAD DE INGENIERIA <b>E.A.P INGENIERIA MECANICA</b>
DIBUJADO:	14/05/2022	J. O. J.		
REVISADO:	14/05/2022	R. D. C.		
	ESCALA:	DETALLE - GUIAS DE CARGA P2 FAJA DE DESCARGA		HOJA:
	1:20	LAVADORA HIDRODINAMICA POST COSECHA DE ESPINACAS		FORMATO: A3

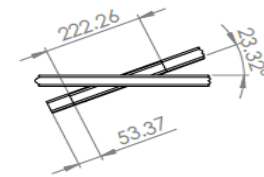
**DETALLE D**

ESCALA 1 : 10



**DETALLE C**

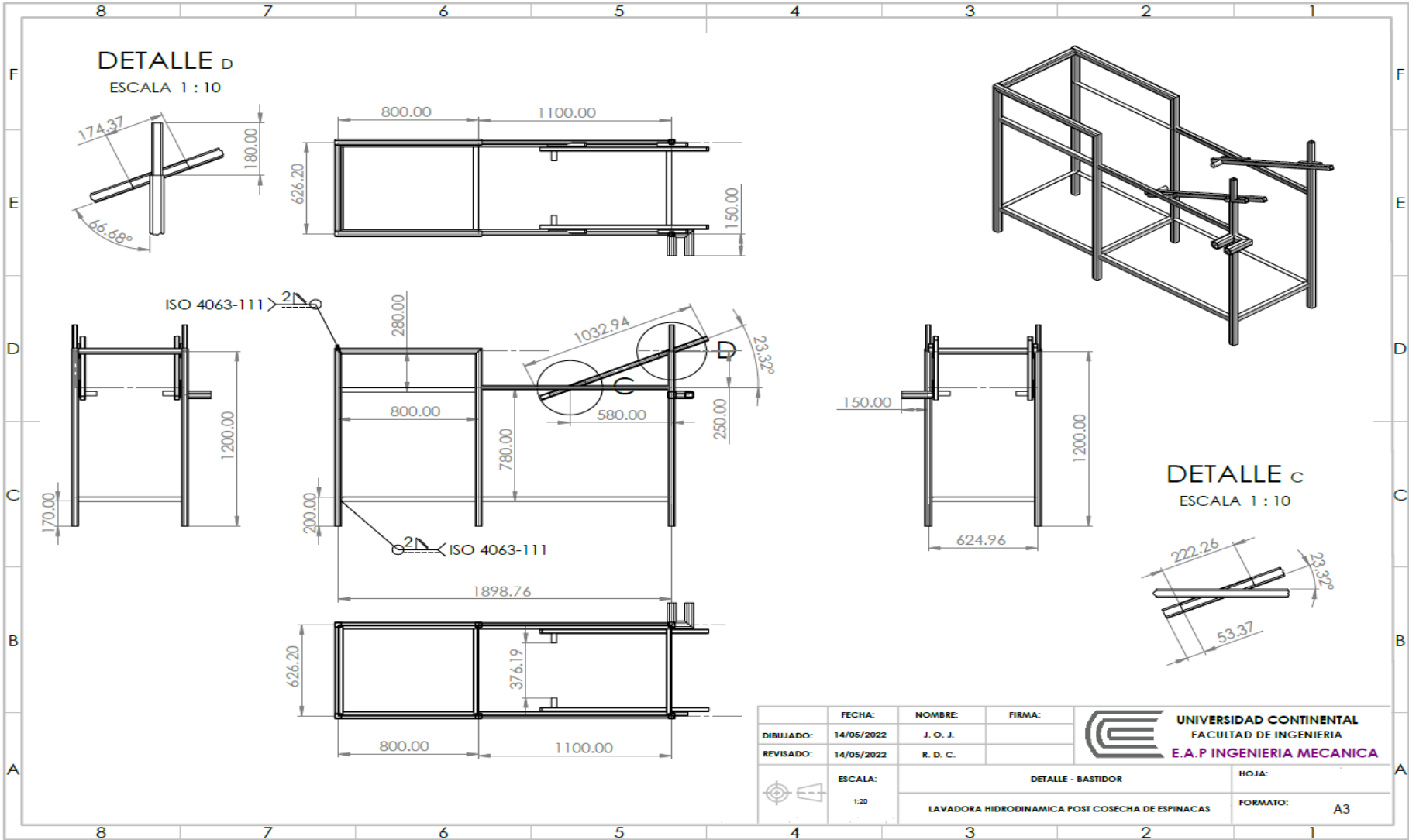
ESCALA 1 : 10



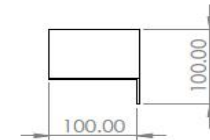
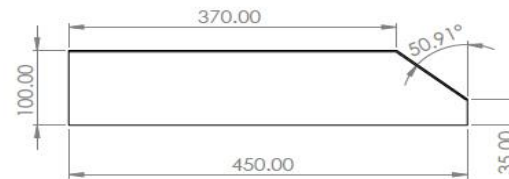
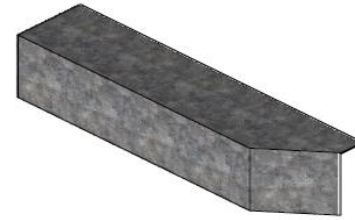
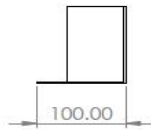
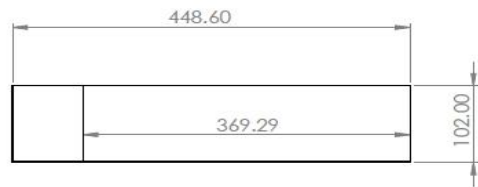
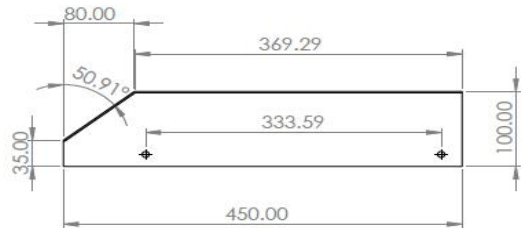
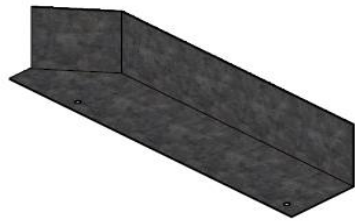
FECHA:	14/05/2022	NOMBRE:	J. O. J.	FIRMA:	
DIBUJADO:	14/05/2022	REVISADO:	R. D. C.		
ESCALA:	1:20	DETALLE - BASTIDOR		HOJA:	
		LAVADORA HIDRODINAMICA POST COSECHA DE ESPINACAS		FORMATO:	A3



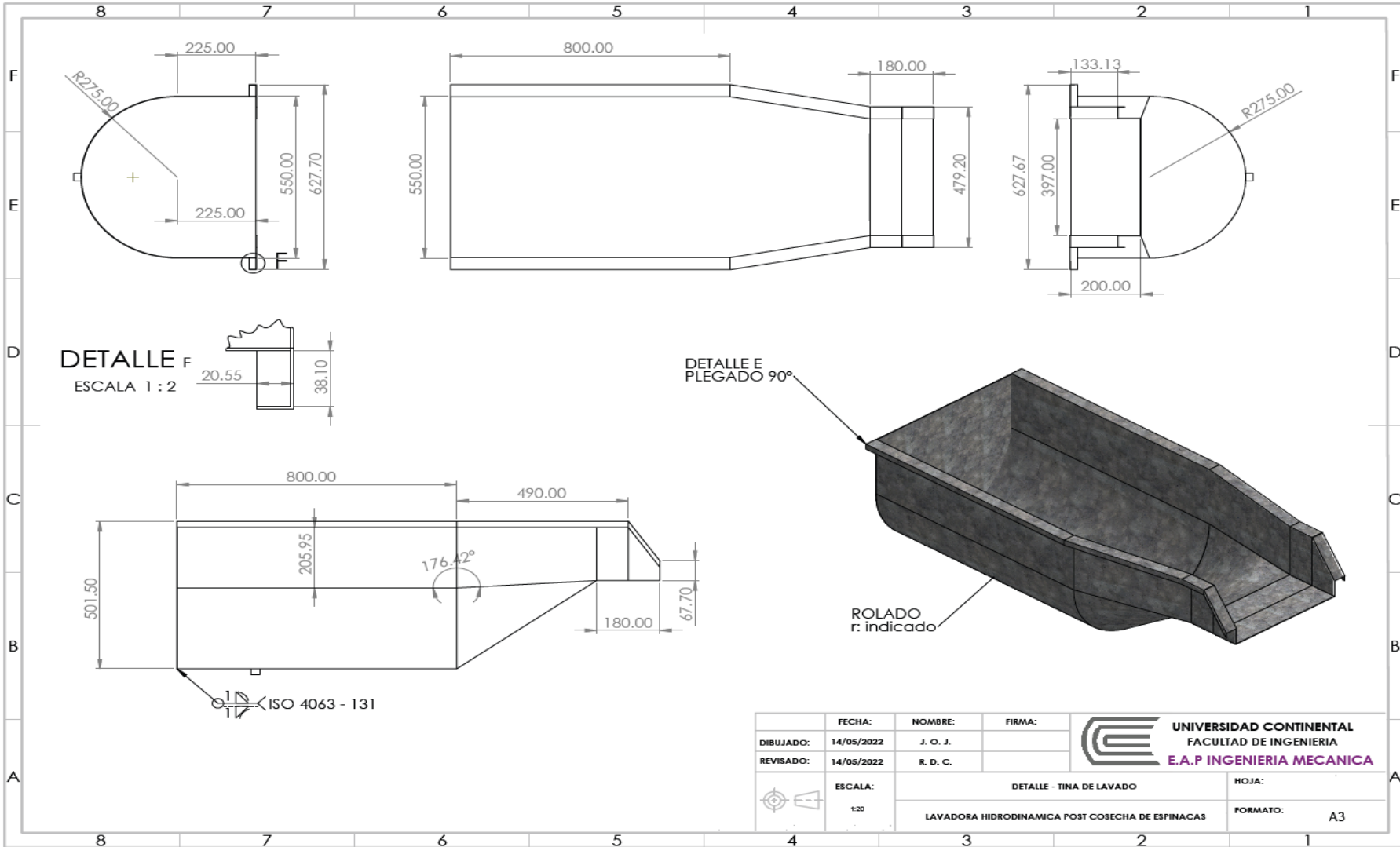
**UNIVERSIDAD CONTINENTAL**  
FACULTAD DE INGENIERIA  
**E.A.P INGENIERIA MECANICA**



1. GUIA DE CARGA P1



	FECHA:	NOMBRE:	FIRMA:	 <b>UNIVERSIDAD CONTINENTAL</b> FACULTAD DE INGENIERIA E.A.P. INGENIERIA MECANICA
DIBUJADO:	14/05/2022	J. O. J.		
REVISADO:	14/05/2022	R. D. C.		
 ESCALA: 1:20	DETALLE - GUIAS DE CARGA P1 FAJA DE DESCARGA		HOJA:	
	LAVADORA HIDRODINAMICA POST COSECHA DE ESPINACAS		FORMATO: A3	

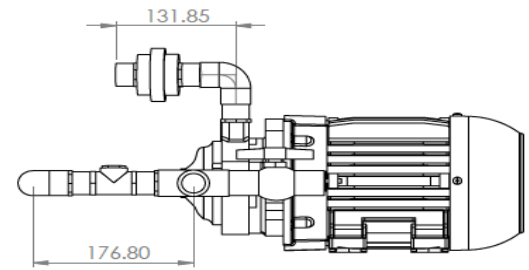
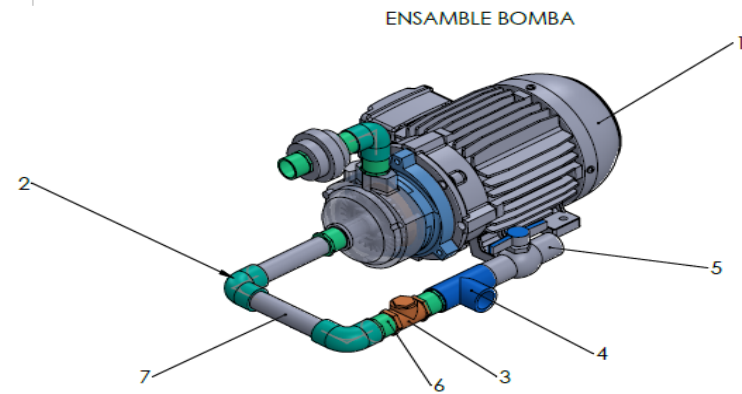
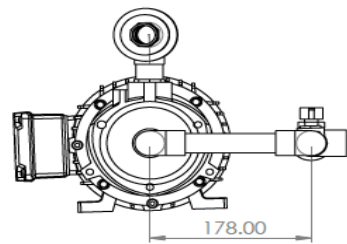
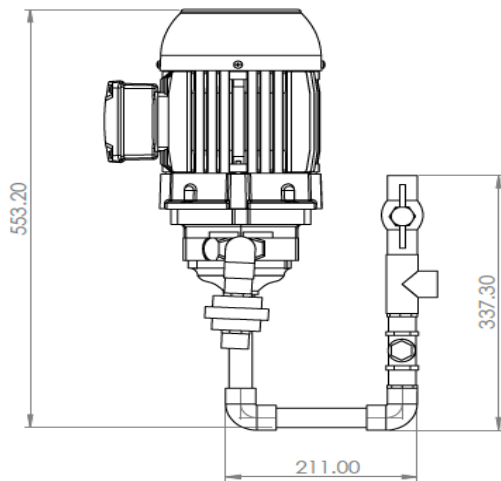


DETALLE F  
ESCALA 1 : 2

DETALLE E  
PLEGADO 90°

ROLADO  
r: indicado

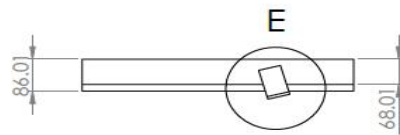
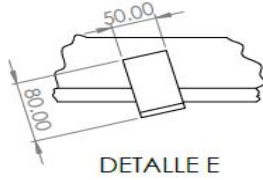
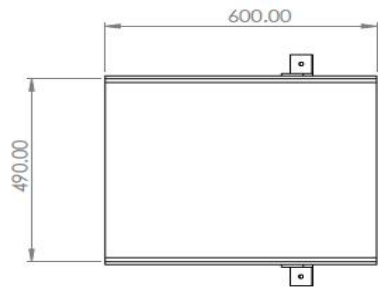
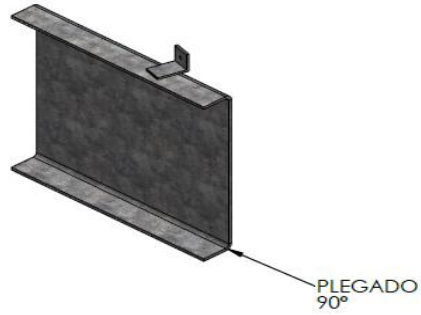
	FECHA:	NOMBRE:	FIRMA:	 <b>UNIVERSIDAD CONTINENTAL</b> FACULTAD DE INGENIERIA <b>E.A.P INGENIERIA MECANICA</b>
DIBUJADO:	14/05/2022	J. O. J.		
REVISADO:	14/05/2022	R. D. C.		
	ESCALA:	DETALLE - TINA DE LAVADO		HOJA:
	1:20	LAVADORA HIDRODINAMICA POST COSECHA DE ESPINACAS		FORMATO: A3



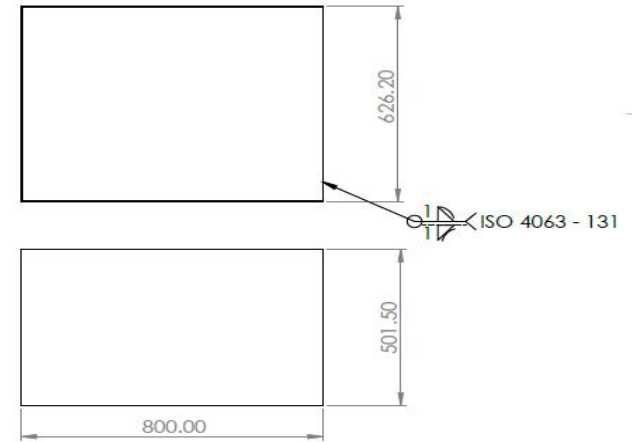
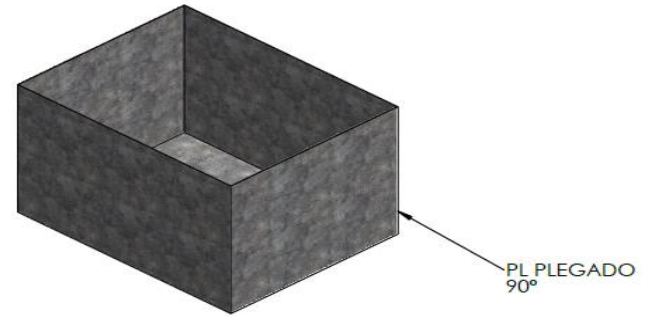
ELEMENTO	CANTIDAD
1 BOMBA	01
2 CODO 90°	02
3 VALVULA ANTIRETORNO	01
4 UNION T	01
5 VALVULA BOLA	01
6 UNION NIPLE	04
7 TUBO	01

FECHA:	NOMBRE:	FIRMA:	 <b>UNIVERSIDAD CONTINENTAL</b> FACULTAD DE INGENIERIA <b>E.A.P INGENIERIA MECANICA</b>
DIBUJADO: 14/05/2022	J. O. J.		
REVISADO: 14/05/2022	R. D. C.		
ESCALA:	DETALLE - LINEA DE SUCCION AGUA LIMPIA		HOJA:
1:20	LAVADORA HIDRODINAMICA POST COSECHA DE ESPINACAS		FORMATO: A3

1. BANDEJA DE ENTRADA

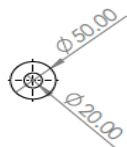
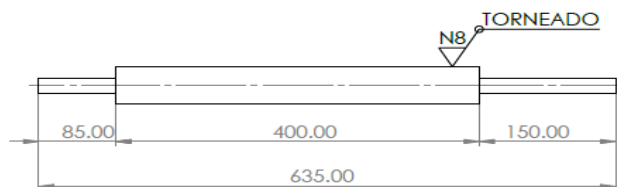
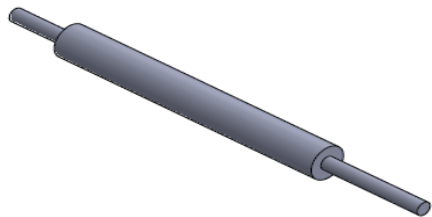


1. TANQUE DE ALMACENAMIENTO AGUA LIMPIA

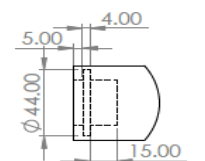
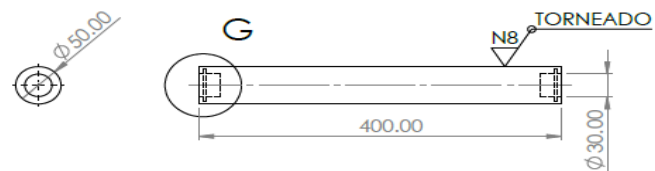
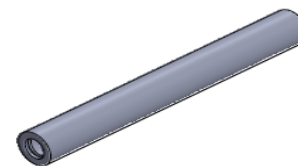


	FECHA:	NOMBRE:	FIRMA:	 <b>UNIVERSIDAD CONTINENTAL</b> FACULTAD DE INGENIERIA <b>E.A.P INGENIERIA MECANICA</b>
DIBUJADO:	14/05/2022	J. O. J.		
REVISADO:	14/05/2022	R. D. C.		
	ESCALA:	DETALLE - BANDEJA DE ENTRADA DETALLE - TANQUE DE ALMACENAMIENTO AGUA LIMPIA		HOJA:
	1:20	LAVADORA HIDRODINAMICA POST COSECHA DE ESPINACAS		FORMATO: A3

1. RODILLO MOTRIZ



2. RODILLO COLA

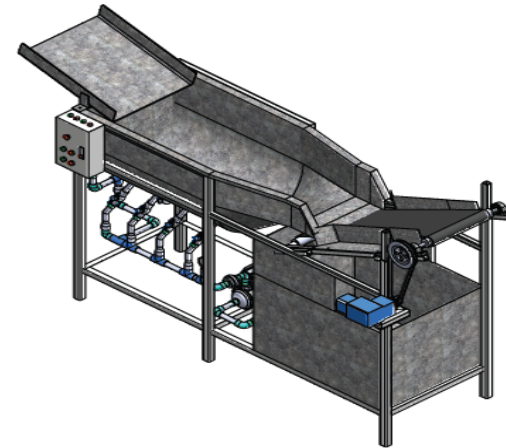


DETALLE G  
ESCALA 2 : 5

	FECHA:	NOMBRE:	FIRMA:	 <b>UNIVERSIDAD CONTINENTAL</b> FACULTAD DE INGENIERIA E.A.P INGENIERIA MECANICA
DIBUJADO:	14/05/2022	J. O. J.		
REVISADO:	14/05/2022	R. D. C.		
ESCALA:	DETALLE - RODILLO MOTRIZ DETALLE - RODILLO COLA		HOJA:	
	1:20	LAVADORA HIDRODINAMICA POST COSECHA DE ESPINACAS		FORMATO: A3



N.º	PIEZA	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
1	Bastidor	Tubo cuadrado Ac. inox 1.5" x 0.095"	3
2	Tina de lavado	PL Ac. inox 1/16" x 4' x 8'	2
3	Deposito de agua		
4	Guia de carga P2		
5	Guia de carga P1		
6	Bandeja entrada		
7	Electrobomba	Centrifuga 3.2 HP	1
8	Rodillo motriz	Tubo redondo Ac. inox Ø2" x 400	1
9	Linea de inyeccion	Tubo Ac inox Ø 1" x 2.7 mm	1
10	Banda transportadora	Lona 300 x 1900	1
11	Motoreductor	1 HP i 1:100	1
12	Poleas de transmision	Tipo V Ø 2.5"	2
13	Linea de succion	Tubo Ac. inox Ø 2" x 2.7 mm	1
14	Chumacera de pie	UCP 204-12 WHX	2
15	Tamiz malla secundaria	Acero Inox N°20 AISI 316 800 x 626	1
16	Tamiz malla primaria	Acero Inox 10 cm AISI 316 800 x 626	1



	FECHA:	NOMBRE:	FIRMA:	 <b>UNIVERSIDAD CONTINENTAL</b> FACULTAD DE INGENIERIA E.A.P INGENIERIA MECANICA
DIBUJADO:	14/05/2022	J. O. J.		
REVISADO:	14/05/2022	R. D. C.		
	ESCALA:	LISTA DE MATERIALES		HOJA:
	1:20	LAVADORA HIDRODINAMICA POST COSECHA DE ESPINACAS		FORMATO: A3