

Instituto Tecnológico de Costa Rica

Carrera de Ingeniería Mecatrónica



**“Rediseño de una máquina llenadora y dosificadora de jalea en la empresa Jaleas
AltoBarrantes”**

**Informe de Proyecto de Graduación para optar por el título de Ingeniero en
Mecatrónica con el grado académico de Licenciatura**

Shazlyn Melissa Barrantes Murillo

Cartago, 11 de marzo de 2022




Este obra está bajo una [licencia de Creative Commons Reconocimiento-
NoComercial-CompartirIgual 4.0
Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/).

Declaro que el presente Proyecto de Graduación ha sido realizado enteramente por mi persona, utilizando y aplicando literatura referente al tema e introduciendo conocimientos propios.

En los casos en que he utilizado bibliografía, he procedido a indicar las fuentes mediante las respectivas citas bibliográficas.

En consecuencia, asumo la responsabilidad total por el trabajo de graduación realizado y por el contenido del correspondiente informe final.

Cartago, 11 de marzo 2022

A handwritten signature in blue ink, consisting of stylized initials and a surname, positioned above a horizontal line.

Shazlyn Melissa Barrantes Murillo

Céd: 207470452

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA
PROGRAMA DE LICENCIATURA EN INGENIERÍA MECATRÓNICA
PROYECTO FINAL DE GRADUACIÓN
ACTA DE APROBACIÓN

El profesor asesor del presente trabajo final de graduación, indica que el documento presentado por el estudiante cumple con las normas establecidas por el programa de Licenciatura en Ingeniería Mecatrónica del Instituto Tecnológico de Costa Rica para ser defendido ante el jurado evaluador, como requisito final para aprobar el curso Proyecto Final de Graduación y optar así por el título de Ingeniero(a) en Mecatrónica, con el grado académico de Licenciatura.

Estudiante: Shazlyn Melissa Barrantes Murillo

Proyecto: Rediseño de una máquina llenadora y dosificadora de jalea en la empresa Jaleas AltoBarrantes

**JAIME ALONSO
MORA
MELENDEZ
(FIRMA)**

Digitally signed by JAIME
ALONSO MORA MELENDEZ
(FIRMA)
Date: 2022.03.04 10:12:08 -06'00'

MSc. -Ing. Jaime Mora Meléndez

Asesor

Cartago, 11 de marzo 2022

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA
PROGRAMA DE LICENCIATURA EN INGENIERÍA MECATRÓNICA
PROYECTO FINAL DE GRADUACIÓN
ACTA DE APROBACIÓN

Proyecto final de graduación defendido ante el presente jurado evaluador como requisito para optar por el título de Ingeniero(a) en Mecatrónica con el grado académico de Licenciatura, según lo establecido por el programa de Licenciatura en Ingeniería Mecatrónica, del Instituto Tecnológico de Costa Rica.

Estudiante: Shazlyn Melissa Barrantes Murillo

Proyecto: Rediseño de una máquina llenadora y dosificadora de jalea en la empresa Jaleas AltoBarrantes

Miembros del jurado evaluador

TEC | Tecnológico
de Costa Rica

ANA GABRIELA ORTIZ
LEON (FIRMA)
2022.03.15 15:26:10
-06'00'

EDUARDO JOSE ASENJO
CASTILLO (FIRMA)
2022.03.14 19:41:13 -06'00'

Dra. -Ing. Gabriela Ortiz León

Jurado

Ing. Eduardo José Asenjo Castillo

Jurado

PAULA ELENA
MONGE CHANTO
(FIRMA)

Firmado digitalmente por
PAULA ELENA MONGE
CHANTO (FIRMA)
Fecha: 2022.03.13 14:17:14
-06'00'

Ing. Paula Monge Chanto

Jurado

Los miembros de este jurado dan fe de que el presente proyecto final de graduación ha sido aprobado y cumple con las normas establecidas por el programa de Licenciatura en Ingeniería Mecatrónica.

Cartago, 11 de marzo 2022

Resumen

La empresa Jaleas AltoBarrantes realiza el llenado del producto de forma manual, a pesar de contar con una máquina llenadora para tal fin, esto debido a que la máquina no dosifica de manera precisa el producto y se ha observado que la mayoría de los empaques llenados con la máquina han sufrido de caducidad temprana, provocando rechazo por parte de los propietarios para utilizarla.

A raíz de esto, se planteará el rediseño de la máquina llenadora con el fin de proponer mejoras al sistema de alimentación y dosificación de la máquina llenadora para aumentar la productividad en un 25% y obtener un error de dosificación menor al 2%, cumpliendo con estándares de inocuidad.

El sistema propuesto se enfocó en resolver el problema reutilizando los componentes de la máquina actual en la medida de lo posible para disminuir la inversión por parte de la empresa y obtener las mayores ganancias posibles.

La validación del sistema permitió verificar que el sistema es capaz de aumentar la productividad de la empresa en un promedio de 707.23% al automatizar el llenado manual, también fue posible comprobar que el error de dosificación es del 1.49% para las presentaciones de producto que maneja actualmente la empresa.

Palabras Clave

Llenadora, productividad, jalea, mejoras

Abstract

The company Jaleas AltoBarrantes handles the filling process manually, despite having a filling machine for this purpose, because to the fact that the machine does not precisely dose the product and it has been observed that most of packages filled with the machine have suffered from early expiration, causing rejection by the owners to use it.

As a result of this, the redesign of the filling machine will be proposed in order to propose improvements to the feeding and dosing system of the filling machine to increase productivity by 25% and obtain a dosing error of less than 2%, complying with safety standards.

The proposed system focused on solving the problem by reusing the components of the current machine as much as possible to reduce the investment by the company and obtain the highest possible profits.

The validation of the system allowed to verify that the system can increase the productivity of the company by 707.23% by automating the manual filling, it was also possible to verify that the dosage error is 1.49% for the product presentations that are currently handled by the company.

Keywords

Filler, productivity, jelly, improvements

Dedico el presente proyecto a mi papá, quien creyó en mi desde siempre, me apoyó y estuvo al pendiente en cada momento de mis estudios, desde el día uno hasta hoy.

Agradezco a Dios por darme la oportunidad de finalizar mis estudios y superar todos los obstáculos.

A la empresa Jaleas AltoBarrantes por abrirme las puertas y a mi familia por siempre apoyarme, en especial a mis abuelos por su acompañamiento.

Especiales gracias a Jonathan Páez por siempre acompañarme, motivarme y ser incondicional durante el proyecto, no lo hubiese logrado sin tu apoyo. A Olga Padilla por su gran cariño y apoyo.

A Fernanda Hidalgo, Heiner Guillén, Victor Salas y Daniela Araya por su soporte y apoyo durante el proyecto.

A mis asesores Ana Lucía Morera y Jaime Mora por todo el soporte y guía para completar satisfactoriamente el proyecto.

Gracias a Yulian Delgado por su soporte para poder cumplir con los últimos detalles del proyecto.

Lista de contenidos

Lista de figuras	vi
Lista de tablas	xii
Lista de abreviaciones	xv
Capítulo 1. Introducción	1
1.1 Entorno del proyecto	1
1.2 Descripción del problema a resolver	1
1.2.1 Generalidades.....	1
1.2.2 Justificación	2
1.2.3 Síntesis del problema	3
1.3 Objetivos	4
1.3.1 Objetivo general.....	4
1.3.2 Objetivos específicos	4
Capítulo 2. Marco Teórico	5
2.1 Máquinas llenadoras.....	5
2.1.1 Tipos de llenadoras Volumétricas.....	5
2.2 Gestión de Inocuidad Alimentaria.....	9
2.3 Flujo en tuberías	11
2.3.1 Flujo laminar y turbulento	11
2.3.2 Pérdidas de energía en tuberías	12
2.3.3 Ecuación de Bernoulli.....	13
2.3.4 Ecuación general de la energía	13
Capítulo 3. Presentación de la llenadora actual de la empresa	14
3.1 Funcionamiento.....	14

3.2	Componentes.....	15
3.2.1	Conductos de abastecimiento sólidos.	15
3.2.2	Conducto de abastecimiento flexible.....	17
3.2.3	Pistón	19
3.2.4	Switch de final de carrera.	20
3.2.5	Pedal	21
3.2.6	Switch manual.....	21
3.2.7	Controlador: Relé inteligente modular.....	21
3.2.8	Compresor de aire.....	23
3.2.9	Unidad de preparación de aire (FRL)	24
3.2.10	Electroválvula direccional neumática 5/2.....	25
3.2.11	Válvula de control de flujo unidireccional	26
Capítulo 4.	Diagnóstico de la máquina actual	27
4.1	Posibles causas del problema	27
4.1.1	Objetivo:	27
4.1.2	Procedimiento	27
4.1.3	Resultados	29
4.1.4	Análisis de resultados	29
4.2	Injerencia de las posibles causas en el problema	30
4.2.1	Injerencia de las posibles causas en la caducidad temprana del producto	30
4.2.1.6.1	<i>Causa: Sellado de bolsas defectuoso</i>	<i>37</i>
4.2.1.6.2	<i>Causa: Bolsas sucias.....</i>	<i>37</i>
4.2.1.6.3	<i>Causa: Sistema de llenado introduce burbujas de aire en la jalea.....</i>	<i>38</i>
4.2.1.6.6	<i>Causa: Conductos de abastecimiento de inadecuado material</i>	<i>38</i>
4.2.1.6.7	<i>Causa: Émbolo del pistón de inadecuado material</i>	<i>39</i>

4.2.1.6.8	<i>Causa: Conductos de abastecimiento de jalea sucios</i>	39
4.2.2	Injerencia de las posibles causas en defectos de peso.....	40
4.2.2.5.1	<i>Causa: Diseño del ingreso del producto</i>	43
4.2.2.5.2	<i>Causa: Ineficiente sujeción del final de carrera</i>	43
4.2.2.5.3	<i>Causa: Sistema Neumático inadecuado</i>	44
4.2.2.5.1	<i>Causa: Programa de mantenimiento preventivo</i>	44
4.2.3	Resultados a partir de las pruebas.....	45
Capítulo 5.	Metodología.....	47
5.1	Determinación de Necesidades.....	48
5.2	Especificaciones del producto.....	48
5.3	Generación de conceptos.....	49
5.4	Selección y Evaluación de Conceptos.....	50
Capítulo 6.	Determinación de Especificaciones.....	52
6.1	Determinación de Necesidades.....	52
6.1.1	Recopilar datos sin procesar de los clientes.....	52
6.1.2	Interpretar los datos sin procesar en términos de las necesidades de clientes.....	53
6.1.3	Organizar las necesidades en una jerarquía.....	55
6.1.4	Establecer la importancia relativa de las necesidades.....	57
6.2	Especificaciones del producto.....	60
6.2.1	Elaborar la lista de métricas.....	60
6.2.2	Recabar información que provea contexto.....	65
6.3	Establecer valores meta ideales y marginalmente aceptables.....	68
Capítulo 7.	Diseño a nivel de sistema.....	70
7.1	Generación de conceptos.....	70
7.1.1	Descomposición funcional del problema.....	70

7.1.2	Enfoque del trabajo en subproblemas de interés.....	73
7.1.3	Búsqueda Interna de conceptos.....	75
7.1.4	Búsqueda Externa de conceptos.....	76
7.1.5	Organización y combinación de conceptos.....	77
7.2	Selección y Evaluación de Conceptos.....	84
7.2.1	Etapa de Filtrado.....	84
7.2.2	Etapa de Evaluación.....	89
Capítulo 8.	Diseño a detalle.....	93
8.1	Diseño Mecánico.....	93
8.1.1	Diseño del ingreso del producto	94
8.1.2	Diseño del sistema neumático.....	124
8.1.3	Validación de componentes existentes	127
8.2	Diseño del control automático.....	129
8.2.1	Selección del controlador.....	130
8.2.2	Diagrama de flujo original.....	131
8.2.3	Diagrama de flujo nuevo.....	133
8.2.4	Entradas y salidas de la nueva programación	135
Capítulo 9.	Validación de la Propuesta de diseño	136
9.1	Prueba 1. Velocidad de llenado.....	137
9.1.1	Tamaño de muestra.....	137
9.1.2	Objetivo y parámetros de influencia	138
9.1.3	Métrica en estudio.....	138
9.1.4	Descripción de la prueba.....	138
9.1.5	Resultados	139
9.2	Prueba 2. Precisión de dosificado	142

9.2.1	Tamaño de muestra.....	142
9.2.2	Objetivo y parámetros de influencia	142
9.2.3	Métrica en estudio.....	142
9.2.4	Descripción de la prueba.....	142
9.2.5	Resultados	143
9.3	Validación de Inocuidad.....	145
9.4	Validación de disminución de desperdicio de producto.....	145
Capítulo 10.	Análisis económico.....	146
10.1	Costos.....	146
10.2	Análisis de rentabilidad.....	149
Capítulo 11.	Conclusiones y Recomendaciones.....	151
11.1	Conclusiones	151
11.2	Recomendaciones.....	152
Capítulo 12.	Referencias Bibliográficas.....	153
Anexo A.	Prueba microbiológica.....	156
Anexo B.	Sellos HALLITE.....	157
Anexo C.	Programación.....	158
Anexo D.	Planos	161

Lista de figuras

Figura 1.1. Máquina llenadora de jalea de la empresa Jaleas Alto Barrantes. Fuente: Elaboración Propia	1
Figura 2.1. Operación de una llenadora de pistón. (A) Contracción del pistón. (B) Extensión del pistón. [1]	6
Figura 2.2. Operación de una llenadora de diafragma. (A) Elevación del diafragma. (B) Descenso del diafragma. [1]	7
Figura 2.3. Elementos de la llenadora de flujo temporizada. [1]	8
Figura 2.4. Llenadora de tornillo. [1].....	8
Figura 2.5. Comportamiento de un colorante inyectado en un flujo a) laminar y b) turbulento en una tubería. [10]	11
Figura 3.1. Máquina llenadora de la empresa. Fuente: Elaboración propia.....	14
Figura 3.2. Conductos de abastecimiento de acero inoxidable. Fuente: Elaboración propia...	16
Figura 3.3. Conducto de abastecimiento flexible de la máquina actual. [13]	17
Figura 3.4. Sujeción de la manguera a la máquina. Fuente: Elaboración propia.....	18
Figura 3.5. Pistón de la máquina actual. [14].....	19
Figura 3.6. Switch de final de carrera de la máquina actual. Fuente: Elaboración propia.....	20
Figura 3.7. Pedal de la máquina actual. Fuente: Elaboración propia.....	21
Figura 3.8. Switch manual de la máquina actual. Fuente: Elaboración propia.....	21
Figura 3.9. Controlador de la máquina actual. [16]	22
Figura 3.10. Compresor de aire de la máquina actual. [17]	23
Figura 3.11. Unidad de preparación de aire de la máquina actual. Fuente: Elaboración propia.	24
Figura 3.12. Electroválvula direccional 5/2 de la máquina actual. Fuente: Elaboración propia.	25
Figura 3.13. Válvula de control de flujo de la máquina actual. Fuente: Elaboración propia...	26

Figura 4.1. Diagrama causa-efecto inicial. Fuente: Elaboración Propia.....	29
Figura 4.2. Diagrama Causa-Efecto con resultados del diagnóstico de la máquina. Fuente: Elaboración Propia.....	45
Figura 4.3. Diagrama causa-efecto final. Fuente: Elaboración Propia.	46
Figura 5.1. Fases desarrolladas de la metodología de Diseño y desarrollo de productos. Fuente: Elaboración propia.	47
Figura 6.1. Fase Determinación de necesidades. Fuente: Elaboración propia.....	52
Figura 6.2. Etapa 1 de la determinación de necesidades. Fuente: Elaboración propia.	52
Figura 6.3. Etapa 2 de la determinación de necesidades. Fuente: Elaboración propia.	53
Figura 6.4. Etapa 3 de la determinación de necesidades. Fuente: Elaboración propia.	55
Figura 6.5. Etapa 4 de la determinación de necesidades. Fuente: Elaboración propia.	57
Figura 6.6. Fase Especificaciones del producto. Fuente: Elaboración propia.	60
Figura 6.7. Etapa 1 de las especificaciones del producto. Fuente: Elaboración propia.	60
Figura 6.8. Etapa 2 de las especificaciones del producto. Fuente: Elaboración propia.	65
Figura 6.9. Etapa 3 de las especificaciones del producto. Fuente: Elaboración propia.	68
Figura 7.1. Fase Generación de conceptos. Fuente: Elaboración propia.	70
Figura 7.2. Etapa 1 de la Generación de conceptos. Fuente: Elaboración propia.....	70
Figura 7.3. Diagrama funcional de un sistema de llenado que surge de una descomposición funcional general. Fuente: Elaboración propia.	71
Figura 7.4. Primera descomposición funcional del sistema de llenado. Fuente: Elaboración propia.	72
Figura 7.5. Segunda descomposición funcional del sistema de llenado. Fuente: Elaboración propia.	72
Figura 7.6. Etapa 2 de la Generación de conceptos. Fuente: Elaboración propia.....	73
Figura 7.7. Etapa 3 de la Generación de conceptos. Fuente: Elaboración propia.....	75

Figura 7.8. Etapa 4 de la Generación de conceptos. Fuente: Elaboración propia.....	76
Figura 7.9. Etapa 5 de la Generación de conceptos. Fuente: Elaboración propia.....	77
Figura 7.10. Árbol de clasificación para la subfunción "Ingreso de jalea". Fuente: Elaboración propia.	78
Figura 7.11. Árbol de clasificación para la subfunción "Dosificado de jalea". Fuente: Elaboración propia.....	79
Figura 7.12. Concepto A. Ingreso de jalea con conductos de acero inoxidable. Fuente: Elaboración propia.....	80
Figura 7.13. Concepto B. Ingreso de jalea con conductos flexibles. Fuente: Elaboración propia.....	81
Figura 7.14. Concepto C. Ingreso de jalea con conductos de acero inoxidable unidos a un conducto flexible en el extremo.....	82
Figura 7.15. Concepto D. Ingreso de jalea mediante tanque. Fuente: Elaboración propia.....	83
Figura 7.16. Fase Selección y evaluación de conceptos. Fuente: Elaboración propia.....	84
Figura 7.17. Etapa 1 de la Selección y Evaluación de conceptos. Fuente: Elaboración propia.....	84
Figura 7.18. Conceptos generados para la subfunción Ingreso de jalea. Fuente: Elaboración propia.....	86
Figura 7.19. Conceptos generados para la subfunción Dosificado de jalea. Fuente: Elaboración propia.....	86
Figura 7.20. Etapa 2 de la Selección y Evaluación de conceptos. Fuente: Elaboración propia.....	89
Figura 8.1. Etapas de la Propuesta de Diseño. Fuente: Elaboración propia.....	93
Figura 8.2. Diseño Mecánico de la Propuesta de Diseño. Fuente: Elaboración propia.....	93
Figura 8.3. Etapas del Diseño Mecánico. Fuente: Elaboración propia.....	93
Figura 8.4. Etapa Diseño del ingreso del producto del Diseño Mecánico. Fuente: Elaboración propia.....	94

Figura 8.5. Paso 1 del Diseño del ingreso del producto. Fuente: Elaboración propia.	95
Figura 8.6. Paso 2 del Diseño del ingreso del producto. Fuente: Elaboración propia.	98
Figura 8.7. Paso 3 del Diseño del ingreso del producto. Fuente: Elaboración propia.	100
Figura 8.8. Paso 4 del Diseño del ingreso del producto. Fuente: Elaboración propia.	101
Figura 8.9. Paso 5 del Diseño del ingreso del producto. Fuente: Elaboración propia.	103
Figura 8.10. Vista 3D del sistema de llenado propuesto. Fuente: Elaboración propia.	104
Figura 8.11. Vista frontal del boceto del sistema de llenado propuesto. Fuente: Elaboración propia.	104
Figura 8.12. Vista lateral del boceto del sistema de llenado propuesto. Fuente: Elaboración propia.	105
Figura 8.13. Gráfico de la fase de dosificado y succión del sistema de llenado. Fuente: Elaboración propia.	106
Figura 8.14. Gráfico de la fase de dosificado del sistema de llenado. Fuente: Elaboración propia.	107
Figura 8.15. Parte 1 del cálculo de la presión requerida para la fase de dosificado. Fuente: Elaboración propia.	108
Figura 8.16. Parte 2 del cálculo de la presión requerida para la fase de dosificado. Fuente: Elaboración propia.	109
Figura 8.17. Flujo derivado para conexiones en T. [10]	109
Figura 8.18. Comportamiento del flujo en tuberías con contracción repentina. [10]	110
Figura 8.19. Gráfica de valores K_L para contracción repentina. [10]	111
Figura 8.20. Parte 3 del cálculo de la presión requerida para la fase de dosificado. Fuente: Elaboración propia.	112
Figura 8.21. Parte 4 del cálculo de la presión requerida para la fase de dosificado. Fuente: Elaboración propia.	115

Figura 8.22. Gráfico de la fase de succión del sistema de llenado. Fuente: Elaboración propia.	116
Figura 8.23. Parte 1 del cálculo de la presión requerida para la fase de succión. Fuente: Elaboración propia.	117
Figura 8.24. Parte 2 del cálculo de la presión requerida para la fase de succión. Fuente: Elaboración propia.	118
Figura 8.25. Coeficiente de perdida en codo embridado. [10].....	118
Figura 8.26. Parte 3 del cálculo de la presión requerida para la fase de succión. Fuente: Elaboración propia.	119
Figura 8.27. Parte 4 del cálculo de la presión requerida para la fase de succión. Fuente: Elaboración propia.	121
Figura 8.28. Presión del punto 1. Fuente: Elaboración propia.	122
Figura 8.29. Etapa Diseño del sistema neumático del Diseño Mecánico. Fuente: Elaboración propia.	124
Figura 8.30. Etapa validación del diseño del émbolo y sujeción para el final de carrera del Diseño Mecánico. Fuente: Elaboración propia.	127
Figura 8.31. Embolo de la maquina llenadora actual. Fuente: Elaboración propia.	127
Figura 8.32. Sello HALLITE 8835310. Fuente: Elaboración propia.....	127
Figura 8.33. Dimensiones y montaje de los sellos HALLITE en el embolo. [38].....	128
Figura 8.34. Diseño del control automático de la Propuesta de Diseño. Fuente: Elaboración propia.	129
Figura 8.35. Etapas del Diseño del control automático. Fuente: Elaboración propia.....	130
Figura 8.36. Etapa 1 del Diseño del control automático. Fuente: Elaboración propia.	131
Figura 8.37. Diagrama de flujo de la programación actual de la máquina. Fuente: Elaboración propia.	132
Figura 8.38. Etapa 2 del Diseño del control automático. Fuente: Elaboración propia.	133

Figura 8.39. Diagrama de flujo de la nueva programación de la máquina. Fuente: Elaboración propia.	134
Figura 9.1. Llenadora durante las pruebas de validación. Fuente: Elaboración propia.	136
Figura 9.2. Tolva y conductos utilizados durante las pruebas de validación. Fuente: Elaboración propia.	137
Figura 9.3. Llenado de 500 g de jalea. Fuente: Elaboración propia.....	138
Figura 9.4. Llenado de 250 g de jalea. Fuente: Elaboración propia.....	142
Figura A.1. Informe de prueba microbiológica de la manguera.	156
Figura B.1. Especificaciones de sellos de pistón. Fuente: [38].....	157
Figura C.1. Programación 1 del controlador Zelio SRU B101FU. Fuente: Elaboración propia.	158
Figura C.2. Programación 2 del controlador Zelio SRU B101FU. Fuente: Elaboración propia.	159
Figura C.3. Programación 3 del controlador Zelio SRU B101FU. Fuente: Elaboración propia.	159
Figura C.4. Programación 4 del controlador Zelio SRU B101FU. Fuente: Elaboración propia.	160
Figura C.5. Programación 5 del controlador Zelio SRU B101FU. Fuente: Elaboración propia.	160
Figura D.1. Plano sistema de tuberías. Fuede: Elaboración propia.	161
Figura D.2. Plano sistema neumático. Fuente: Elaboración propia.	162
Figura D.3. Plano sistema eléctrico. Fuente: Elaboración propia.	163

Lista de tablas

Tabla 3.1. Elementos del conducto de abastecimiento de acero inoxidable.	17
Tabla 3.2. Especificaciones de la manguera de la máquina actual.	18
Tabla 3.3. Especificaciones del pistón de la máquina actual.	19
Tabla 3.4. Especificaciones del switch de final de carrera de la máquina actual.	20
Tabla 3.5. Especificaciones del controlador de la máquina actual.	22
Tabla 3.6. Especificaciones del compresor de aire de la máquina actual.	23
Tabla 3.7. Especificaciones de la Unidad de preparación de aire de la máquina actual.	24
Tabla 3.8. Especificaciones de la Electroválvula direccional 5/2 de la máquina actual.	25
Tabla 3.9. Especificaciones de la válvula de control de flujo de la máquina actual.	26
Tabla 4.1. Resultados de la primera inspección visual para determinar la presencia o no de aire en las bolsas, llevada a cabo los días 1 y 2 en las bolsas llenadas a mano y con máquina.	34
Tabla 4.2. Resumen de resultados de la presencia de aire en las bolsas, llevada a cabo los días 1 y 2 en las bolsas llenadas a mano y con máquina.	35
Tabla 4.3. Resultados de evidencia visual de caducidad, llevada a cabo el día 22 en las bolsas llenadas a mano y con máquina.	36
Tabla 4.4. Resumen de resultados de evidencia visual de caducidad, llevada a cabo el día 22 en las bolsas llenadas a mano y con máquina.	37
Tabla 4.5. Masa dosificada para empaques de 500 g en prueba diagnóstico.	41
Tabla 4.6. Masa dosificada para empaques de 250 g en prueba diagnóstico.	42
Tabla 6.1. Procesado de necesidades a partir de frases expresadas por el cliente.	53
Tabla 6.2. Lista jerárquica de necesidades primarias y secundarias del cliente para el sistema de llenado.	56
Tabla 6.3. Lista jerárquica de necesidades primarias y secundarias del cliente para el sistema de llenado. Las clasificaciones de importancia para las necesidades secundarias están indicadas por	

el número de asteriscos, donde tres asteriscos denotan necesidades de importancia crítica para el sistema. Las necesidades latentes están denotadas por el signo (!).	58
Tabla 6.4. Necesidades del cliente para el sistema de llenado y su importancia relativa.	59
Tabla 6.5. Lista de métricas para el sistema de llenado. La importancia relativa de cada métrica y las unidades también se muestran. "Subj." es una abreviatura que indica que la métrica es subjetiva.	62
Tabla 6.6. Matriz necesidades-métricas.	64
Tabla 6.7. Parámetros de máquinas llenadoras del mercado basada en métricas.	67
Tabla 6.8. Lista de métricas para el sistema de llenado. La importancia relativa de cada métrica y las unidades de la métrica también se muestran. "Subj." es una abreviatura que indica que la métrica es subjetiva.	69
Tabla 7.1. Subfunciones del sistema de llenado relacionadas con las causas del problema.	74
Tabla 7.2. Insumos obtenidos de la Tormenta de ideas.	76
Tabla 7.3. Insumos obtenidos de la búsqueda externa.	77
Tabla 7.4. Definición de criterios para evaluar la subfunción Ingreso de jalea.	85
Tabla 7.5. Definición de criterios para evaluar la subfunción Dosificado de jalea.	85
Tabla 7.6. Etapa Filtrado: Matriz de selección y evaluación de conceptos para la subfunción Ingreso de jalea.	88
Tabla 7.7. Etapa Filtrado: Matriz de selección y evaluación de conceptos para la subfunción Dosificado de jalea.	89
Tabla 7.8. Etapa Evaluación: Matriz de selección y evaluación de conceptos para la subfunción Ingreso de jalea.	91
Tabla 7.9. Etapa Evaluación: Matriz de selección y evaluación de conceptos para la subfunción Dosificado de jalea.	92
Tabla 8.1. Tiempo de llenado para el producto de 334 ml.	96
Tabla 8.2. Tiempo de llenado para el producto de 167 ml.	97

Tabla 8.3. Volumen con error de dosificación del 2% e incertidumbre de dosificado con un conducto de diámetro interno de 47.8 mm para los diferentes volúmenes de producto de la empresa Jaleas AltoBarrantes.....	101
Tabla 8.4. Longitudes de las diferentes secciones de la fase de dosificado.....	112
Tabla 8.5. Requerimientos de presión mínimos para llevar a cabo las diferentes fases del sistema de llenado.....	123
Tabla 8.6. Análisis de componentes del sistema neumático.....	125
Tabla 8.7. Requerimientos de presión y caudal para el compresor a elegir.....	126
Tabla 8.8. Dimensiones del embolo recomendadas en el catálogo Hallite y dimensiones del embolo actual de la empresa.....	129
Tabla 8.9. Selección del controlador.....	130
Tabla 8.10. Entradas y salidas utilizadas en el controlador.....	135
Tabla 9.1. Tiempo de llenado para empaques de 500 g.....	139
Tabla 9.2. Tiempo de llenado para empaques de 250 g.....	140
Tabla 9.3. Aumento de productividad obtenida para cada empaque al utilizar la máquina. .	141
Tabla 9.4. Masa dosificada para empaques de 500 g.....	143
Tabla 9.5. Masa dosificada para empaques de 250 g.....	144
Tabla 10.1. Costo de materiales.....	146
Tabla 10.2. Costos Mano de Obra.....	147
Tabla 10.3. Coste de inversión para mejora.....	147
Tabla 10.4. Egresos en producción de Jalea del año 2021.....	148
Tabla 10.5. Egresos en producción de Jalea del año 2021 bajo supuesto de utilización de máquina de llenado.....	148
Tabla 10.6. Flujos de operaciones de los siguientes 9 años.....	149
Tabla 10.7. Indicadores financieros.....	150

Lista de abreviaciones

VAN	Valor Actual Neto.
TIR	Tasa Interna de Retorno.
Psi	Libras por pulgada cuadrada
pulg	pulgadas
N	Newtons
°	Grados
μ	Micro
máx	Máximo
s	segundos
HP	Caballos de fuerza
bpm	Botellas por minuto
ml/s	Mililitros por segunddo
V	Volumen
D	Diámetro
s	Longitud de carrera del pistón (Stoke en inglés)
Q	Caudal
t	Tiempo
Pa	Pascal

P_2	Presión en el punto 2
P_3	Presión en el punto 3
γ	Peso Específico
Z_2	Distancia del punto 2 a la referencia
Z_3	Distancia del punto 3 a la referencia
v_2	Velocidad del fluido en el punto 2
v_3	Velocidad del fluido en el punto 3
h_A	Energía añadida al sistema
h_R	Energía removida del sistema
h_L	Energía perdida del sistema
g	Gravedad
A_T	Área transversal
K	Coefficiente de resistencia
v	Velocidad del flujo promedio
ρ	Densidad
η	Viscosidad dinámica
f	Factor de fricción
L	Longitud de la corriente de flujo
Núm.	Número

Imp. Importancia

Capítulo 1. Introducción

En este capítulo se presenta el contexto en el que se desarrolla el proyecto, el problema identificado en la empresa, la importancia de resolver el mismo y los objetivos propuestos.

1.1 Entorno del proyecto

El proyecto se desarrolla en una microempresa de la industria alimenticia llamada Jaleas AltoBarrantes, fundada en 1983 en San Ramón de Alajuela y dedica a la producción y venta de jalea de guayaba.

Los propietarios y fundadores de Jaleas AltoBarrantes son una familia compuesta por una pareja de adultos mayores y sus dos hijos, donde todos comparten las tareas de la línea de producción ya que no se cuenta con departamentos definidos.

En los primeros años, la jalea solo se vendía entre vecinos y debido a la aceptación que tuvo, se comienza a comercializar con pulperías y abastecedores en presentaciones de 250 g y 500 g, para posteriormente expandirse a Supermercados del cantón e ingresar a comercios en otros lugares de la zona de Occidente. Para realizar las labores del proceso productivo la empresa cuenta desde hace unos años, con tres máquinas semiautomáticas: una despulpadora, una olla de cocción y una máquina llenadora la cual se muestra en la Figura 1.1.



Figura 1.1. Máquina llenadora de jalea de la empresa Jaleas Alto Barrantes. Fuente: Elaboración Propia

1.2 Descripción del problema a resolver

1.2.1 Generalidades

La máquina llenadora con la que cuenta la empresa, carece de un sistema que permita dosificar la cantidad de jalea requerida de forma precisa, de modo que en ocasiones la masa llenada es menor

a la deseada, lo cual hace necesario que el personal deba agregar manualmente esta cantidad poco a poco, hasta llegar al peso requerido, o bien, cuando la máquina dosifica mayor cantidad de la requerida, hace necesario que el excedente de jalea deba ser retirado del empaque manualmente, causando atraso y exceso de manipulación en el proceso, lo cual no ocurriría si el dosificado fuese preciso.

Además, se han presentado problemas de calidad en el producto llenado con la máquina, ya que cuando la jalea pasa por uno de los conductos de alimentación, es contaminada, provocando que no cumpla con la fecha de caducidad promedio la cual es de 6 meses, llegando a presentar evidencias de caducidad incluso a los 15 días después del llenado, aun cuando se han tomado todas las medidas de higiene, se limpian las bolsas y todo utensilio que entre en contacto con la jalea, se trabaje en un ambiente libre de contaminantes y se cumpla el protocolo de manipulación de alimentos al utilizar la máquina, siempre se presenta el problema.

Es por todo esto que la empresa ha decidido dejar de utilizar la máquina y realizar el proceso de llenado de manera manual, con ayuda de una balanza donde se pesan una a una las bolsas mientras se llenan, lo que afecta la productividad en gran medida.

1.2.2 Justificación

Los defectos de peso y caducidad temprana que sufren las bolsas llenadas con la máquina provocaron que la empresa optara por realizar el llenado de forma manual, ya que era imposible la venta de bolsas con estas características.

Por lo tanto, solucionar el problema permitirá que la máquina realice un llenado preciso y el producto no sufra contaminación en sus conductos, haciendo posible para la empresa la sustitución del llenado manual por el llenado con máquina. Si no se da solución a ambos defectos, la máquina quedaría igualmente inutilizable, ya que un producto con peso correcto pero contaminado o sin contaminación, pero con defecto en peso, no es viable venderlo.

Contar con la máquina para el llenado hará posible que solo sea necesaria la participación de una persona en lugar de dos durante el llenado, lo cual representa una disminución del 50% del recurso humano necesario. Otro beneficio de dar solución al problema y comenzar a utilizar la máquina, es la reducción del tiempo de la etapa de llenado, lo cual es crítico para la empresa,

puesto que el llenado manual representa un cuello de botella en el proceso de producción, consumiendo el 66% del mismo.

Actualmente, la llenadora representa un gasto para la empresa, puesto que su adquisición no ha generado beneficios, por lo que dar solución al problema hará posible que la llenadora se convierta en un activo, permitiendo a la empresa aumentar la productividad y con esto facilitar la expansión comercial y la disminución de costos.

Es oportuno hacer énfasis en que, el solucionar el problema de dosificado impreciso, permitirá a la empresa utilizar la máquina sin correr el riesgo de recibir algún tipo de sanción por vender producto que no cumpla, como mínimo, con el peso anunciado en su etiqueta. También, la mejora en el dosificado evitará agregar producto en exceso en las bolsas, lo cual representará una disminución de gastos de producto.

Por otro lado, el solucionar el problema de caducidad temprana de la jalea, ocasionado por la contaminación del producto en el conducto de abastecimiento, permitirá a la empresa evitar devoluciones de los comercios, lo cual es altamente deseable, ya que las devoluciones provocan que la empresa pierda: el tiempo de producción invertido, los costos de mano de obra, los empaques, el producto y además, genera un nuevo gasto de combustible tanto para la recolección del producto devuelto como para la reposición del mismo en el comercio.

Es importante tomar en cuenta que cuando un comercio devuelve un producto por caducidad temprana, se puede perder la confianza y las relaciones comerciales pueden verse afectadas o bien terminadas, lo mismo sucede con el consumidor final, el cual puede optar por no adquirir el producto nuevamente, ya sea porque lo probó y su sabor no era el esperado o bien, porque la apariencia del mismo no se veía atractiva antes de comprarlo o después de haberlo adquirido, lo cual impactaría negativamente la percepción del cliente y las futuras ventas.

1.2.3 Síntesis del problema

Las bolsas llenadas con la actual máquina llenadora no cumplen con la fecha de caducidad debido a contaminación en la máquina, además, tampoco cumplen con el peso requerido, provocando que la empresa decida no utilizar la máquina llenadora y elija realizar el llenado manualmente.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo general

Diseñar las mejoras necesarias del sistema de alimentación y dosificación automático de la máquina llenadora de jalea de la empresa Jaleas Alto Barrantes para aumentar la productividad en un 25%.

1.3.2 Objetivos específicos

1. Diagnosticar la máquina de llenado actual que permita la determinación de las causas de falla en la dosificación y caducidad temprana de la jalea para posteriormente corregirlas.
2. Diseñar las modificaciones del sistema mecánico de alimentación y dosificación de jalea preciso, que permita la disminución del desperdicio de producto y reduzca las pérdidas actuales en un 25%.
3. Diseñar un sistema de control para la alimentación y dosificación precisa de jalea.
4. Plantear las pruebas de concepto necesarias para la verificación y validación del funcionamiento del sistema propuesto.
5. Realizar el análisis económico de la propuesta presentada mediante los indicadores TIR y VAN.

El mayor aporte brindado en este documento fue realizar una propuesta de diseño que de implementarse, le permita a la empresa utilizar la máquina llenadora y así lograr aumentar la productividad actual en un promedio de 707.23%.

Capítulo 2. Marco Teórico

En este capítulo se presentan características y tipos de las máquinas llenadoras, seguidamente se indican aquellas normas sanitarias vigentes en el país por considerar, así como toda información relevante para la etapa de diseño.

2.1 Máquinas llenadoras

Las máquinas llenadoras llevan a cabo dos funciones en una línea de producción: medición de la cantidad de producto deseado y depósito de esta cantidad en el empaque [1]. Las llenadoras se utilizan para productos tanto sólidos como líquidos, es por esto por lo que existen gran variedad de llenadoras según sea el producto utilizado. [2]

En la industria alimenticia, existen Llenadoras Volumétricas y Llenadoras por Peso, las cuales realizan la medición de la cantidad de producto por volumen o por peso respectivamente [1]. Puesto que los sistemas de las llenadoras de sólidos son diferentes a los de las llenadoras de líquidos [2], la medición de producto por volumen se realiza con líquidos de baja y alta viscosidad, productos secos e incluso polvos, en el caso del llenado por peso, se realiza con productos que no poseen densidad uniforme y por ende el llenado por volumen no es apto, un ejemplo de este tipo de producto es la granola. [1]

Sabiendo que el producto de interés en el proyecto es un líquido (jalea), es importante tener en cuenta que debido a la gran variedad de líquidos, no es posible determinar un único tipo de máquina llenadora adecuada para todos los líquidos existentes, es por esto, que existen diferentes tipos de sistemas y la selección del equipo para una tasa de producción determinada depende de la viscosidad, la temperatura, las características de formación de espuma del producto, si contiene partículas y su rango de tamaño. [3]

A continuación, se presentan los diferentes tipos de sistemas que existen para el llenado de productos líquidos exclusivamente, ya que este es el área de interés del proyecto.

2.1.1 Tipos de llenadoras Volumétricas

Estas llenadoras dosifican un determinado volumen del producto en cada empaque y pueden ser utilizadas tanto con líquidos de baja y alta viscosidad, como con productos secos incluso el polvo. [1]

2.1.1.1 Llenadoras de pistón

Son el tipo más común de llenadoras volumétricas [1]. Estas realizan la medición y depósito del producto mediante un pistón. [1]

Como se aprecia en la Figura 2.1 (A), cuando el pistón se contrae, genera succión que abre la válvula check y permite que el producto ingrese desde el tanque de suministro hasta la cámara de medición, luego, al darse la extensión del pistón representada en la Figura 2.1 (B), el empuje abre la segunda válvula check y permite la salida del producto de la cámara de medición y su ingreso al contenedor o empaque a llenar. [1]

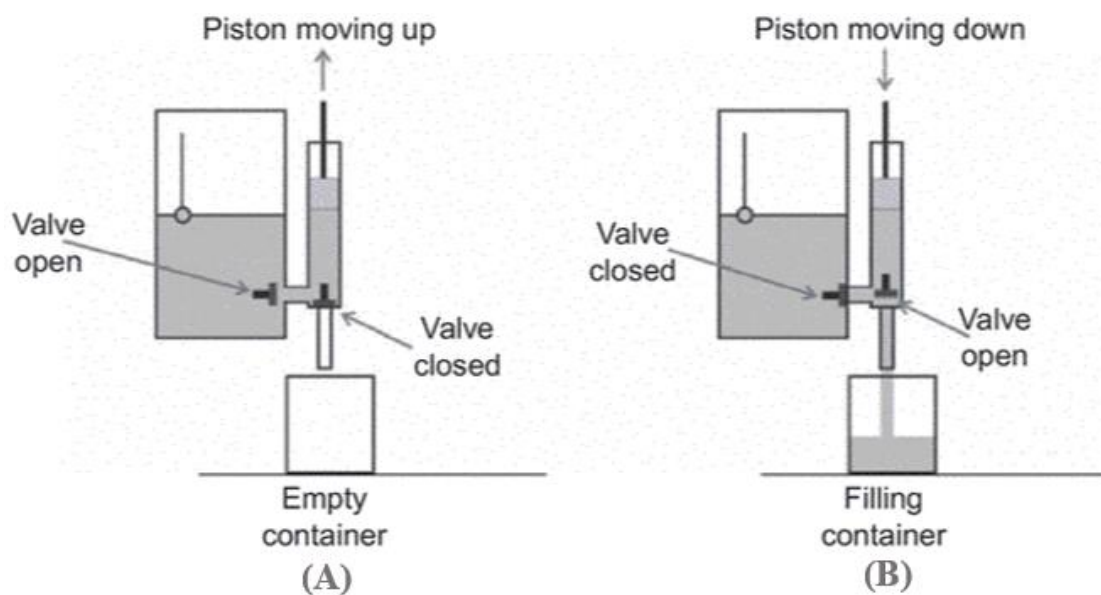


Figura 2.1. Operación de una llenadora de pistón. (A) Contracción del pistón. (B) Extensión del pistón. [1]

2.1.1.2 Llenadoras de Diafragma

El funcionamiento de las llenadoras de Diafragma es muy similar al de las Llenadoras de pistón, con la diferencia que la primera utiliza un diafragma flexible con el que se ajusta el volumen, en lugar de un pistón. [1]

Como se muestra en la Figura 2.2 (A) al ingresar aire a presión en el tanque de suministro, se abre la válvula del tanque, permitiendo que el producto ingrese a la cámara de medición, en la parte superior de la cámara se encuentra un émbolo y el diafragma, los cuales se elevan hasta una altura definida, al alcanzar la altura, se introduce aire a presión en la parte superior del émbolo y con esto se abre la válvula del contenedor y de este modo se completa el llenado del envase. Una importante diferencia entre las llenadoras de pistón y las de diafragma, es que en las primeras el émbolo del pistón entra en contacto con el producto, mientras que, en la segunda, es el aire.

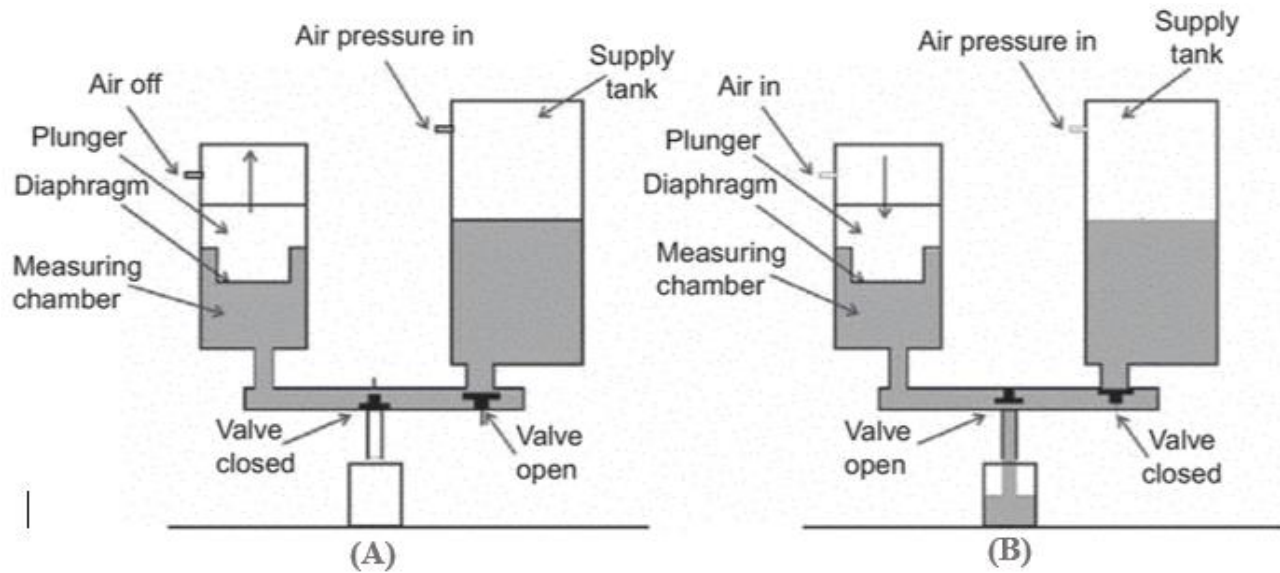


Figura 2.2. Operación de una llenadora de diafragma. (A) Elevación del diafragma. (B) Descenso del diafragma. [1]

2.1.1.3 Llenadoras de flujo temporizadas

Este tipo de llenadoras funcionan mediante una bomba encargada de conducir el producto desde el tanque de suministro hasta el contenedor durante un tiempo definido. Esto es posible ya que, conociendo el tamaño de la tubería, se puede calcular el tiempo necesario de activación de la bomba para depositar el volumen de interés. Un esquema de este tipo de llenadora se muestra en la Figura 2.3.

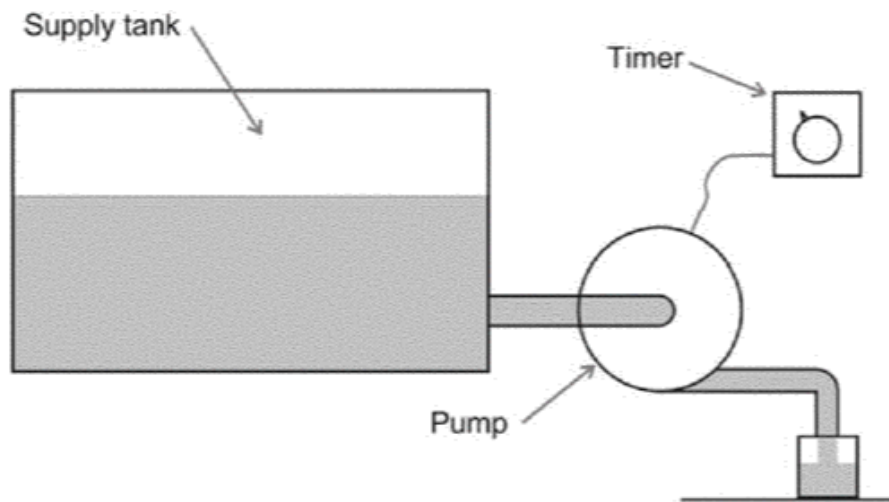


Figura 2.3. Elementos de la llenadora de flujo temporizada. [1]

2.1.1.4 Llenadora de tornillo

Las llenadoras de tornillo almacenan el producto temporalmente en una tolva, el tornillo se coloca en la salida de la tolva de manera vertical, de modo que, al girar, el mismo mueve el producto llevándolo desde la tolva hasta el contenedor. Como se muestra en la Figura 2.4, también se utiliza un agitador para ayudar a mover todo el producto cercano al borde de la tolva. [1]

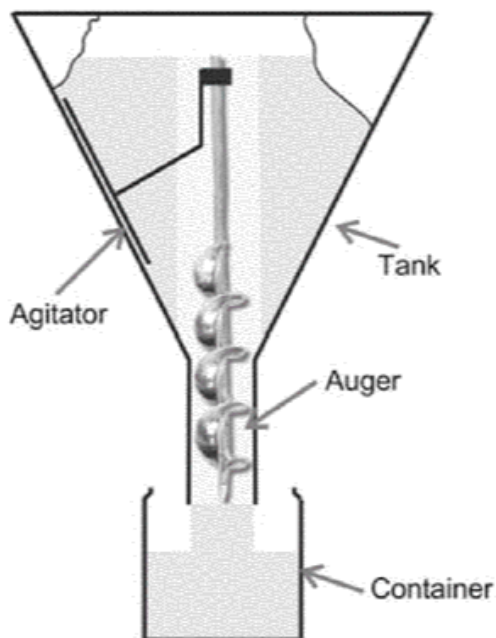


Figura 2.4. Llenadora de tornillo. [1]

Las llenadoras de tornillo son muy utilizadas en productos secos y en pastas muy espesas. El tornillo debe ser cuidadosamente diseñado para el producto con el que se va a utilizar y el control del dosificado se realiza con los grados de giro del tornillo, o bien, en caso de que el tornillo gire a velocidad constante, el dosificado se hará mediante control de tiempo. [1]

2.2 Gestión de Inocuidad Alimentaria

La inocuidad de los alimentos, según [4] es la “seguridad que el alimento no causará un efecto adverso en la salud para el consumidor cuando se prepara y/o se consume de acuerdo con su uso previsto”.

Puesto que existen diversos peligros relacionados con la inocuidad de los alimentos y los mismos pueden ocurrir en cualquier etapa de la cadena alimentaria [4], es de suma importancia para el diseño de las mejoras a la máquina, que se tomen en cuenta las normas sanitarias vigentes para Costa Rica, las cuales están a cargo del Instituto de Normas Técnicas de Costa Rica (INTECO). Las normas por considerar en el proyecto son aquellas que pertenecen al sector Alimentos y agricultura, al comité de Inocuidad de los alimentos de INTECO y que estén ligadas a la etapa de manufactura, que es el interés del proyecto. Las normas que cumplen estos criterios se mencionan a continuación.

La primer norma de interés es la *INTE/ISO 22000:2018 Sistemas de gestión de la inocuidad de los alimentos — Requisitos para cualquier organización en la cadena alimentaria*, en la que según [4], se “especifica los requisitos para un sistema de gestión de la inocuidad de los alimentos (SGIA) para permitir a una organización que está directa o indirectamente involucrada en la cadena alimentaria: a) planificar, implementar, operar, mantener y actualizar un SGIA que proporcione productos y servicios que sean inocuos”. Esta norma se encuentra vigente [5] y su enfoque es guiar a la gerencia de una empresa en aquellos deberes y aspectos que deberá de considerar para un SGIA, puesto que esta norma es muy general y lo que expone tiene un enfoque muy gerencial, el cual no es de utilidad para el proyecto, se procede a consultar la norma *INTE/ISO 22004:2015 Sistemas de gestión de la inocuidad de los alimentos. Orientación para la aplicación de la Norma INTE/ISO 22000*, la cual también se encuentra vigente [6] y como su nombre lo indica, sirve de orientación, proporcionando consejos en la aplicación de la norma *INTE/ISO 22000*. [7]

A partir de la norma *INTE/ISO 22004:2015* [7], se extraen las siguientes ideas de interés para el proyecto:

- Se deben cumplir especificaciones para los materiales en contacto con alimentos, por ejemplo, materiales de equipo.
- Se deben cumplir especificaciones de aire comprimido.

Por otro lado, también se consulta la norma *INTE A1:2020 Principios generales de higiene de los alimentos: buenas prácticas de manufactura (BPM)*, la cual está vigente [8] y se encuentra relacionada más directamente con el proyecto, ya que esta proporciona los principios generales para la producción de alimentos inocuos y aptos para el consumo, establece controles necesarios de higiene y de inocuidad de los alimentos que se deben aplicar en la producción y envasado. Y, cuando proceda, medidas específicas de control de la inocuidad de los alimentos en determinadas etapas de la cadena alimentaria. Se denomina buenas prácticas de manufactura (BPM) a las condiciones fundamentales aplicadas en cualquier etapa de la cadena alimentaria para brindar alimentos inocuos e idóneos. [9]

A partir de la norma *INTE A1:2020* [9], se extraen las siguientes ideas de interés para el proyecto:

- Los equipos deben estar diseñados para facilitar buenas prácticas de higiene.
- En el caso de que se cuente con sistemas de aire comprimido usados en la manufactura y/o llenado, deberían ser construidos y mantenidos para prevenir la contaminación.
- El equipo que vaya a estar en contacto con los alimentos debe ser apto para este propósito, estar diseñados y fabricados de manera que se puedan limpiar y desinfectar adecuadamente y ser mantenidos para evitar la contaminación de los alimentos.
- El equipo se debe mantener en condiciones adecuadas para facilitar todos los procedimientos de limpieza y desinfección.
- El equipo debe impedir la contaminación de los alimentos.
- Envasado: El diseño y los materiales de envasado deben ser inocuos y aptos para uso alimentario.
- Envasado: Ofrecer una protección adecuada de los productos para reducir al mínimo la contaminación.
- Envasado: Cuando se utilicen materiales o gases para el envasado, estos no deben contener contaminantes tóxicos ni representar amenaza para la inocuidad y la idoneidad de los alimentos en las condiciones de almacenamiento y uso específicas.

- Envasado: Todo material de envasado reutilizable debe tener una duración adecuada, ser fácil de limpiar y en caso necesario de desinfectar.

2.3 Flujo en tuberías

Cuando las tuberías transportan un fluido y se encuentran totalmente llenas de este, el flujo se clasifica como interno, aquí el flujo se impulsa principalmente por una diferencia de presión. [10]

Es importante recordar que cuando se realizan cálculos de presión para un fluido, las mediciones de presión se realizan con respecto a una presión de referencia, la cual generalmente es la presión atmosférica. Si se utiliza la presión atmosférica como referencia, la presión medida se llamará presión manométrica. [11]

2.3.1 Flujo laminar y turbulento

Con estos nombres se denomina al flujo según su comportamiento. Según [10], el flujo laminar “se caracteriza por líneas de corriente suaves y movimiento sumamente ordenado”, caso contrario ocurre con el turbulento, el cual según [10] “se caracteriza por fluctuaciones de velocidad y movimiento también desordenado”. En la Figura 2.5 se muestran estos tipos de flujo.

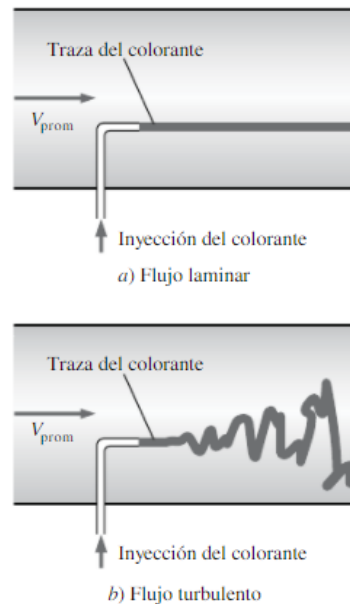


Figura 2.5. Comportamiento de un colorante inyectado en un flujo a) laminar y b) turbulento en una tubería. [10]

Para determinar si el flujo en una sección de una tubería es laminar, se calcula la fórmula del número de Reynolds, mostrada en la Ec. 2.1. En esta se debe obtener un valor igual o menor a 2300 para que el flujo sea considerado como laminar, si es mayor o igual a 4 000 será considerado turbulento. [10]

$$NR = \frac{vD\rho}{\eta} \quad (2.1)$$

2.3.2 Pérdidas de energía en tuberías

En las tuberías se dan pérdidas de energía menores y mayores. Según [11], las mayores corresponden a la “energía perdida en un sistema debido a la fricción generada mientras el fluido fluye por las tuberías”. En el caso de las pérdidas menores, según [11], corresponden a la “energía perdida mientras el fluido fluye por válvulas o accesorios donde tiene que recorrer trayectorias complejas, acelerar, desacelerar o cambiar de dirección”.

Los términos de menores y mayores se deben a que las pérdidas debidas a válvulas y accesorios suelen ser pequeñas en comparación con las pérdidas por fricción. [11]

2.3.2.1 Cálculo de pérdidas menores

Puesto que las pérdidas menores dependen, entre otras cosas, del tipo de válvula o accesorio por el que atravesase el flujo, para su cálculo se utiliza la Ec. 2.2 en donde el coeficiente de resistencia (K) se elige según el accesorio. Este coeficiente se calculó a partir de datos experimentales y se cuenta con valores documentados para cada tipo de accesorio.

La fórmula para calcular las pérdidas menores se muestra en la Ec. 2.2.

$$h_L = K \left(\frac{v^2}{2g} \right) \quad (2.2)$$

2.3.2.2 Cálculo de pérdidas mayores

Para calcular las pérdidas mayores es necesario determinar si el fluido es laminar o turbulento. En caso de que el comportamiento del fluido sea laminar, las pérdidas de la sección se calculan con la ecuación de Hagen-Poiseuille Ec. 2.3.

$$h_L = \frac{32\eta Lv}{\gamma D^2} \quad (2.3)$$

Sustituyendo $\rho = \gamma/g$, se obtiene:

$$h_L = \frac{32\eta Lv}{\rho g D^2} \quad (2.4)$$

2.3.3 Ecuación de Bernoulli

Según [11], la ecuación de Bernoulli “se utiliza para determinar la forma en que los valores de la carga de presión, la carga de elevación y la carga de velocidad cambian a medida que el fluido se desplaza a través del sistema”. Esta ecuación se muestra en la Ec. 2.5.

$$\frac{P_1}{\gamma} + Z_1 + \frac{v_1^2}{2g} = \frac{P_2}{\gamma} + Z_2 + \frac{v_2^2}{2g} \quad (2.5)$$

La ecuación de Bernoulli supone una conservación de la energía, por lo que esta no puede ser utilizada entre puntos donde existan dispositivos mecánicos que agreguen o retiren energía del sistema.

2.3.4 Ecuación general de la energía

Esta ecuación corresponde a una ampliación de la ecuación de Bernoulli, esta ecuación si considera las ganancias y pérdidas de energía de un sistema.

Considerando que el fluido fluye del punto 1 al punto 2, la ecuación general de la energía se muestra en la Ec. 2.6.

$$\frac{P_1}{\gamma} + Z_1 + \frac{v_1^2}{2g} + h_A + h_R - h_L = \frac{P_2}{\gamma} + Z_2 + \frac{v_2^2}{2g} \quad (2.6)$$

Despejando la presión 2 (P_2) y sustituyendo $\gamma = \rho g$:

$$P_2 = \rho g \left(\frac{P_1}{\rho g} + Z_1 - Z_2 + \frac{v_1^2}{2g} - \frac{v_2^2}{2g} + h_A + h_R - h_L \right) \quad (2.7)$$

Según [11], “cada término de la ecuación representa una cantidad de energía por unidad de peso de fluido que fluye en el sistema”.

Capítulo 3. Presentación de la llenadora actual de la empresa

En este capítulo se muestran detalles de la máquina existente en la empresa Jaleas AltoBarrantes, tales como: el tipo de máquina llenadora al que corresponde, funcionamiento y componentes.

En la Figura 3.1 se muestra la llenadora de jalea de la empresa.



Figura 3.1. Máquina llenadora de la empresa. Fuente: Elaboración propia.

La máquina es del tipo Llenadoras de pistón, que como se mencionó anteriormente, realiza la medición y depósito del producto mediante el accionamiento de un pistón.

Esta máquina fue diseñada para ser utilizada de pie, la altura a la que se realiza el llenado es de 86 cm (altura de la máquina: 1.38 m), el ancho de la estructura es de 37 cm y el largo de 1 m.

3.1 Funcionamiento

La máquina requiere de la intervención de un operario, el cual se encarga de colocar y retirar los empaques del área de llenado, este operario también puede elegir si trabajar con llenado manual o llenado automático. Durante el llenado manual, el operario debe accionar la máquina cada vez que desee llenar un empaque, mientras que en el llenado automático la máquina realiza el llenado cada 3 s.

Para encender la máquina no existe un botón o interruptor de arranque, sino que en el momento en que la máquina es conectada a la energía eléctrica, esta entra directamente al llenado manual, de modo que cuando el operario accione la máquina, se dosificará la jalea para un empaque y quedará en espera a que se accione nuevamente el llenado o bien, se seleccione el llenado automático. Por otro lado, la máquina tampoco cuenta con un botón de paro de emergencia y para detener el llenado, se debe seleccionar el llenado manual.

Con el fin de conocer a mayor detalle la máquina que posee la empresa y posteriormente proponer la solución al problema identificado, se mostrarán todos los elementos que la componen y sus especificaciones más relevantes.

3.2 Componentes

Los componentes que participan en el ingreso y dosificado del producto se detallan a continuación.

3.2.1 Conductos de abastecimiento sólidos.

La máquina posee conductos de abastecimiento sólidos de acero inoxidable 304, norma 3A de grado alimenticio, mostrados en la Figura 3.2. El ingreso de la jalea se da mediante la conexión de los conductos de acero inoxidable con el conducto de alimentación flexible, el cual a su vez se introduce en el tanque de suministro de jalea.



Figura 3.2. Conductos de abastecimiento de acero inoxidable. Fuente: Elaboración propia.

Es importante indicar que estos conductos poseen conexión de 2 pulg y un pulimento interior y exterior de $Ra \leq 0.8 \mu\text{m}$. En la Tabla 3.1 se listan las partes de los conductos.

Tabla 3.1. Elementos del conducto de abastecimiento de acero inoxidable.

Cantidad	Elemento	Diámetro interno	Detalles
1	Adaptador Clamp	46.6 mm	---
1	Codo 90 grados Clamp	47.8 mm	---
2	Válvula antirretorno Clamp	47.8 mm 69 mm	Presión máx: 145 Psi ~ 10 Bar [12] Presión de apertura: 1,5 PSI ~ 0,08 Bar [12]
1	Tees Clamp	47.8 mm	---
1	Boquilla Clamp	10.35 mm	---
1	Conexión horizontal Clamp	47.8 mm	---
8	Abrazadera Tri-clamp	---	---
8	Empaque Tri-clamp	---	---

Fuente: Elaboración propia.

3.2.2 Conducto de abastecimiento flexible.

Este conducto se muestra en la Figura 3.3, su material es PVC con espiral rígido de PVC de grado alimenticio para succión, su construcción transparente permite confirmación visual del flujo del material, además de contar con una superficie lisa para facilitar el ajuste de las abrazaderas. [13]

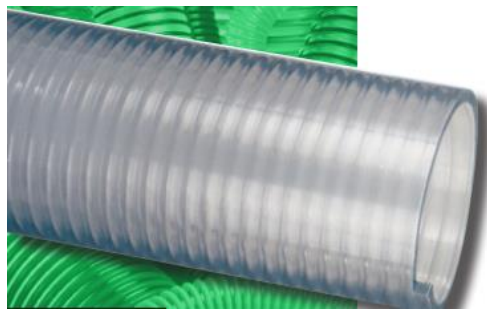


Figura 3.3. Conducto de abastecimiento flexible de la máquina actual. [13]

El conducto tipo manguera se sujeta mediante una abrazadera a los conductos de acero inoxidable y se coloca sobre la máquina llenadora hasta llegar al otro extremo de la misma donde baja hasta introducirse en el tanque de suministro de jalea. La sujeción de la manguera se presenta en la Figura 3.4.



Figura 3.4. Sujeción de la manguera a la máquina. Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 3.2 se muestran las especificaciones de este componente.

Tabla 3.2. Especificaciones de la manguera de la máquina actual.

Especificación	Dato
Material	PVC grado alimenticio
Largo	3 m
Diámetro interno	50.8 mm

Fuente: Elaboración propia.

3.2.3 Pistón

La máquina cuenta con un pistón neumático de doble efecto marca Parker como el mostrado en la Figura 3.5. Las especificaciones del pistón se muestran en la Tabla 3.3.



Figura 3.5. Pistón de la máquina actual. [14]

En la Tabla 3.3 se muestra la información más relevante del pistón.

Tabla 3.3. Especificaciones del pistón de la máquina actual.

Especificación	Dato
Marca	Parker
Tipo	Doble efecto
Número de modelo	04.00 J4MAU14A 8.000
Número de serie	WW620885 D
Presión de operación máxima	250 psi (17 bar)
Tamaño del agujero (Bore size)	4 pulg (101.6 mm)
Longitud de carrera (stroke)	8 pulg (203.2 mm)

Fuente: [14]

3.2.4 Switch de final de carrera.

Para regular la cantidad de producto dosificado, el final de carrera se desliza a lo largo de una placa de acero inoxidable y la sujeción a esta placa se hace mediante tornillos, como se muestra en la Figura 3.6.

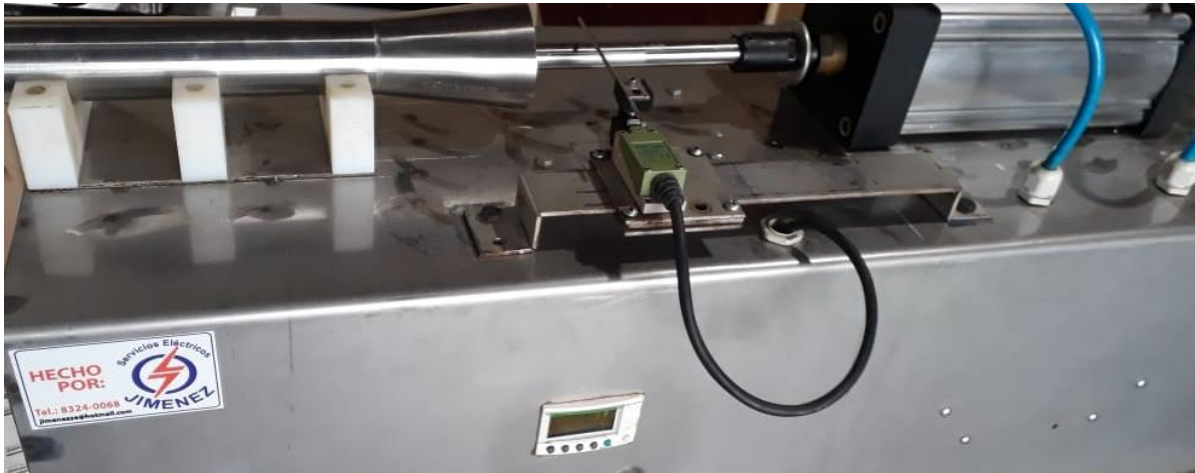


Figura 3.6. Switch de final de carrera de la máquina actual. Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.4. Especificaciones del switch de final de carrera de la máquina actual.

Especificación	Dato
Marca	Chint
Modelo	YBLX-ME/8107
Fuerza de activación máx.	12 N
Ángulo de activación	35°
Ángulo de rotación máx.	70°

Fuente: [15]

3.2.5 Pedal

Durante el llenado manual, el pedal se utiliza para accionar el dosificado de un empaque cada vez que es presionado. El pedal se muestra en la Figura 3.7, el mismo se encuentra en el suelo y puede moverse libremente, su marca es Maz y modelo 3-58-0069.



Figura 3.7. Pedal de la máquina actual. Fuente: Elaboración propia.

3.2.6 Switch manual

El switch manual se utiliza para que el operario elija entre el llenado manual o el llenado automático, también para realizar un dosificado manual. Para elegir el llenado manual o realizar un dosificado manual, se utiliza la posición 2, mientras que para elegir el llenado automático se usa la posición 3. El switch manual se muestra en la Figura 3.8, su marca es Chint y el modelo NP2 BE101.



Figura 3.8. Switch manual de la máquina actual. Fuente: Elaboración propia.

3.2.7 Controlador: Relé inteligente modular

La máquina utiliza el controlador Schneider que se muestra en la Figura 3.9, las características de este se muestran en la Tabla 3.5.



Figura 3.9. Controlador de la máquina actual. [16]

Tabla 3.5. Especificaciones del controlador de la máquina actual.

Especificación	Datos
Marca	Schneider Electric
Modelo	Zelio SR3 B101FU 88960143
Entradas	6 tipo discretas
Salidas	4 tipo relé
Número de líneas	0...500 FBD 0...240 Ladder
Tiempos de respuesta	50 ms Ladder de estado 0 a estado 1 entrada digital 50 ms Ladder de estado 1 a estado 0 entrada digital 50..0,255 ms FBD de estado 0 a estado 1 entrada digital 50..0,255 ms FBD de estado 1 a estado 0 entrada digital 10 ms de estado 0 a estado 1 salida del relé 5 ms de estado 1 a estado 0 salida del relé

Fuente: [16]

3.2.8 Compresor de aire

El compresor de aire vertical utilizado en la máquina es el mostrado en la Figura 3.10.



Figura 3.10. Compresor de aire de la máquina actual. [17]

Las especificaciones del compresor se muestran en la Tabla 3.6.

Tabla 3.6. Especificaciones del compresor de aire de la máquina actual.

Especificaciones	Datos
Marca	Central Pneumatic
Capacidad	21 galones
Potencia del motor	2.5 HP
Presión máxima	125 psi

Fuente: Elaboración propia.

3.2.9 Unidad de preparación de aire (FRL)

En la Figura 3.11, se muestra la unidad FRL que utiliza la máquina, y en la Tabla 3.7 se muestran las especificaciones de interés de esta.



Figura 3.11. Unidad de preparación de aire de la máquina actual. Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.7. Especificaciones de la Unidad de preparación de aire de la máquina actual.

Especificaciones	Datos
Marca	Micro
Serie	QBM1 [18]
Código	0.103.003.532
Presión máxima	10 bar ~ 150 psi
Poder filtrante	40 μ [18]

Fuente: Elaboración propia.

3.2.10 Electroválvula direccional neumática 5/2

En la Figura 3.12, se muestra la electroválvula direccional que utiliza la máquina, y en la Tabla 3.8 se muestran las especificaciones de interés de esta.



Figura 3.12. Electroválvula direccional 5/2 de la máquina actual. Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.8. Especificaciones de la Electroválvula direccional 5/2 de la máquina actual.

Especificaciones	Datos
Marca	Micro
Serie	0830
Código	0 220 002 522
Presión máxima	2.5 ... 10 bar
Temperatura	-5 ... 50 °C

Fuente: Elaboración propia.

3.2.11 Válvula de control de flujo unidireccional

En la Figura 3.13, se muestra la válvula de control de flujo que utiliza la máquina, y en la Tabla 3.9 se muestran las especificaciones de interés de esta.



Figura 3.13. Válvula de control de flujo de la máquina actual. Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.9. Especificaciones de la válvula de control de flujo de la máquina actual.

Especificaciones	Datos
Marca	CAMOZZI
Serie	RFU
Código	482-1/8
Presión máxima	10 bar

Fuente: Elaboración propia.

Capítulo 4. Diagnóstico de la máquina actual

En el diagnóstico se busca definir el enfoque de solución del proyecto, mediante la determinación de las causas de importante injerencia en el problema. Para esto primeramente se determinan las posibles causas del problema y luego se validan con pruebas específicas para determinar el nivel de participación de cada una en el problema.

4.1 Posibles causas del problema

Hasta ahora, se conoce el problema pero aún no se han determinado las causas del mismo, es por esto que, para poder dar solución al problema identificado, es necesario determinar las posibles causas que dan origen al mismo.

4.1.1 Objetivo:

Determinar las posibles causas del problema.

4.1.2 Procedimiento

Para la determinación de las posibles causas del problema, se observa y analiza el sistema de la máquina actual, sus componentes y los instrumentos o materiales utilizados durante el proceso de llenado. [19]

Es importante recalcar que en este análisis solo se tomarán en cuenta las causas que involucran al proceso de llenado, es decir, otros factores que durante el proceso productivo puedan influir en el problema y ocurran antes o después de esta etapa, no serán considerados a menos que sea necesario por algún motivo.

La organización de las posibles causas se lleva a cabo mediante un diagrama causa-efecto ya que la representación gráfica del mismo facilita la comprensión de la relación del problema con sus posibles causas. En el digrama se utilizan las siguientes categorías: mantenimiento, métodos, materiales, medio ambiente, maquinaria y mano de obra, las cuales agrupan y facilitan la generación de las posibles causas.

A continuación, se analizan las posibles causas del defecto de peso y caducidad por separado, con el fin de obtener la mayor cantidad de causas posibles.

4.1.2.1 Posibles causas del defecto de peso

Entre las posibles causas del defecto de peso en las bolsas se encuentra: la inexistencia de un programa de mantenimiento preventivo, es decir, que el sistema de llenado esté fallando debido a que no se le ha realizado mantenimiento.

También se considera como posible causa, el diseño del ingreso de la jalea a la máquina, ya que el mismo consiste en una manguera de tres metros de longitud que se apoya a lo largo de la máquina, lo cual puede generar vibraciones indeseadas y una sobrecarga al sistema neumático, ya que el volumen de producto que se debe succionar es muy grande.

Por otro lado, se considera que la sujeción del final de carrera puede ser ineficiente y que el sistema neumático pueda ser inadecuado ya que algunos de sus componentes no fueron elegidos bajo criterios técnicos.

4.1.2.2 Posibles causas de la caducidad temprana

Existe gran cantidad de factores que pueden alterar o contaminar la jalea durante el proceso productivo. Esto incluye toda superficie que entre en contacto con el producto, ya sean los conductos de las máquinas, los empaques donde se deposita el producto, los ingredientes utilizados para su preparación, el sellado ineficiente de las bolsas, la manipulación incorrecta por parte del personal, entre otros.

Por lo anterior, se sabe que la jalea se puede contaminar en cualquier etapa del proceso productivo, por lo que se debe tener presente que este factor no depende directamente de la llenadora, aunque la misma si puede efectivamente, contribuir a la contaminación del producto.

Puesto que el interés del proyecto es, entre otras cosas, asegurar que la llenadora no sea partícipe de la contaminación del producto, se determinarán todas aquellas posibles causas de contaminación que puedan darse durante la etapa de llenado con máquina, para posteriormente validarlas y así determinar si la llenadora actual contamina el producto.

Entre las posibles causas de contaminación del producto durante el llenado, se encuentran: superficies sucias, incorrecta manipulación del producto, superficies en contacto con el producto de inadecuado material, ambiente contaminado e introducción de burbujas de aire durante el llenado.

4.1.3 Resultados

En la Figura 4.1 se muestran las posibles causas del problema.

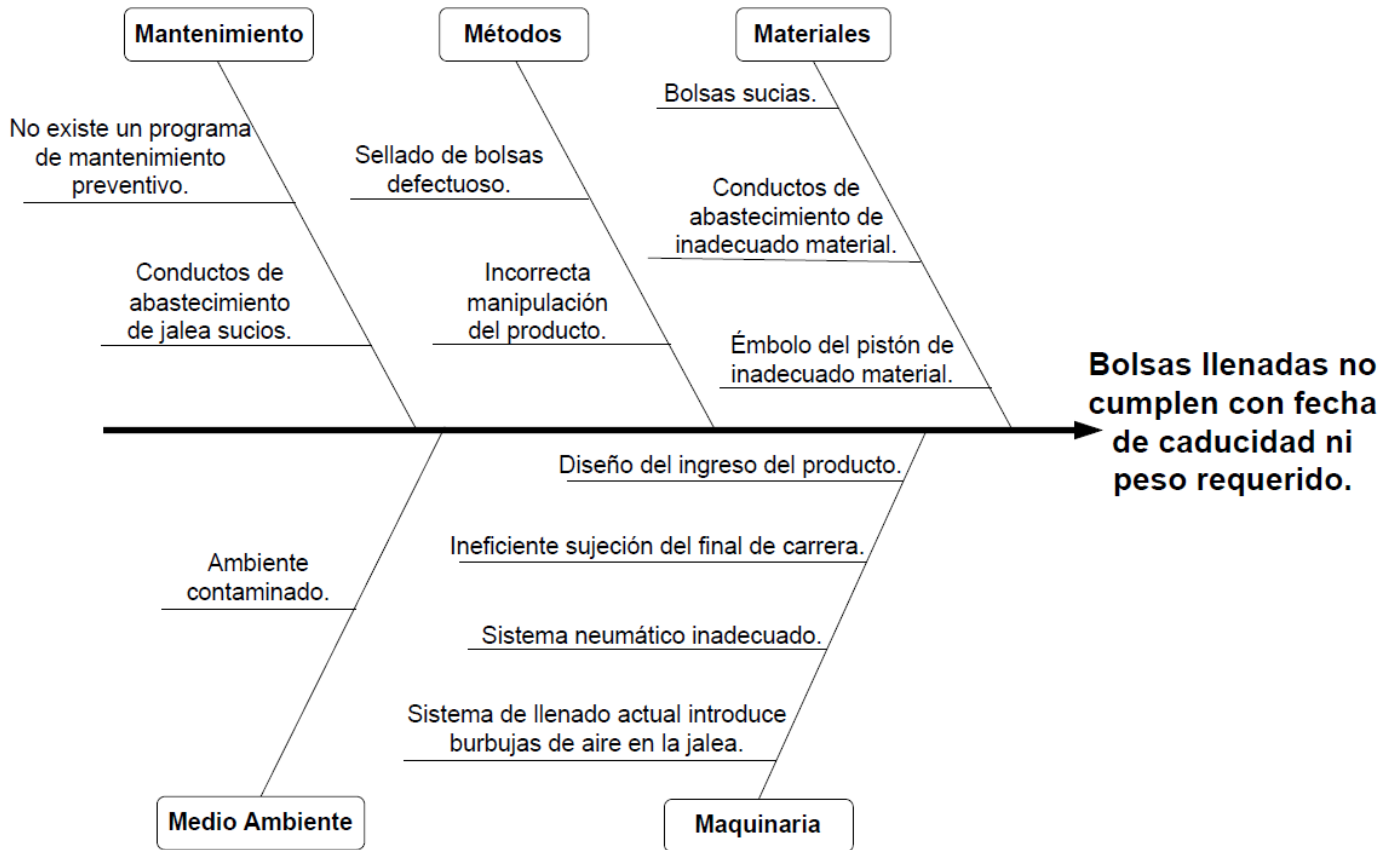


Figura 4.1. Diagrama causa-efecto inicial. Fuente: Elaboración Propia.

4.1.4 Análisis de resultados

En el diagrama de Ishikawa de la Figura 4.1 se observan varias posibles causas del problema, lo cual es lo esperado en este tipo de análisis ya que en los problemas pueden participar varias causas.

La categoría *Mano de obra* no fue considerada en el diagrama ya que los empleados poseen capacidades técnicas para la realización de esta etapa (poseen el curso de manipulación de alimentos y conocimiento de cómo operar la máquina), por tanto, no se consideran las capacidades técnicas como una posible causa del problema.

Por otro lado, en la Figura 4.1 se muestra como posible causa los defectos de sellado de las bolsas. Si bien esta causa pertenece a la etapa de sellado, es necesario incluirla, ya que un fallo en el sellado también puede provocar caducidad temprana del producto que pueda malinterpretarse

como una contaminación del producto durante el llenado, cuando en realidad la causa sea el fallo en el sellado el que provoque el ingreso de partículas y aire en el empaque, terminando en la caducidad temprana de la jalea.

4.2 Injerencia de las posibles causas en el problema

Una vez definidas las posibles causas, es necesario validar mediante pruebas, cuanto puede contribuir cada una de las causas al problema. Primeramente, se describe la prueba realizada para determinar la injerencia de las posibles causas en la caducidad temprana del producto y posteriormente se describe la prueba para determinar la injerencia de las posibles causas en el peso de las bolsas llenadas.

4.2.1 Injerencia de las posibles causas en la caducidad temprana del producto

La prueba consiste en llevar a cabo el llenado de bolsas tanto de forma manual como con la máquina. La prueba se realiza en dos días diferentes, en el primero se realiza el llenado manual y al día siguiente el llenado con máquina.

4.2.1.1 Objetivo

Determinar el nivel de participación de las posibles causas en la caducidad temprana del producto llenado con la máquina.

4.2.1.2 Generalidades

Tanto para el llenado manual como con máquina, se utilizó el mismo lote de producto y mismo lote de empaques, dosificando aproximadamente 500 g de producto en cada bolsa.

La totalidad de la ejecución de la prueba estuvo a cargo del mismo personal capacitado de la empresa, tomando las mismas medidas de higiene.

El sellado es exactamente el mismo tanto para las llenadas con la máquina como para las llenadas manualmente.

Las bolsas llenadas en ambos tipos de llenado se almacenan en el mismo lugar.

La evidencia de fermentación que se espera ver en las bolsas caducadas, en el orden en el que ocurren:

- Gran cantidad burbujas de aire.
- Burbujas en empaques inflados (debido a los gases expulsados).
- Burbujas y espuma de color blanco en empaques inflados.
- Bolsa estallada. La inflación aumenta constantemente hasta llegar al punto de estallar la bolsa.

4.2.1.3 Tamaño de muestra

Para determinar el tamaño de muestra que garantice la confiabilidad de los datos, es necesario calcularlo con la Ec. 4.1.

$$n = \frac{Z_{\alpha}^2 \cdot p \cdot q}{d^2} \quad (4.1)$$

Se determina que la población es de tipo infinita ya que se desconoce el tamaño de la población, según [20], para lotes con sospechas de contaminación, se define el tamaño de muestra para realizar la respectiva inspección con un 95% de probabilidad y un error de estimación máximo aceptado de 14%, con lo que se obtiene:

$$n = \frac{1.96^2 \cdot 0.5 \cdot 0.5}{0.14^2} \quad (4.2)$$

$$n = 49 \quad (4.3)$$

Por lo tanto, es necesario realizar al menos 49 ejecuciones en cada tipo de llenado para que la media muestral sea representativa con un margen de error de 14% y confiabilidad de 95%.

4.2.1.4 Procedimiento

4.2.1.4.1 *Día 1. Llenado Manual*

1. El personal de la empresa se encarga de lavar y secar adecuadamente todo el equipo a utilizar.
2. Se realiza el llenado manual.
3. Se procede a sellar las bolsas.

4. Se etiqueta cada bolsa llenada con un número.
5. Se realiza una inspección visual de cada bolsa y se toman notas para determinar la presencia o no de burbujas de aire.
6. Se almacena el producto llenado en un lugar fresco donde no reciba luz solar directa.

Debido al largo tiempo que toma el llenado manual, se decide realizar el llenado con máquina al día siguiente en el mismo lugar y hora.

4.2.1.4.2 Día 2. Llenado con Máquina

1. El personal de la empresa se encarga de lavar y secar adecuadamente todo el equipo a utilizar.
2. Se procede a llenar completamente los conductos de abastecimiento de la máquina con la jalea, para esto se acciona la máquina varias veces hasta que la salida de producto se observe uniforme, lo cual indica que no hay presencia de aire en los conductos y es posible comenzar a llenar las bolsas.
3. Se realiza el llenado con máquina.
4. Se procede a sellar las bolsas.
5. Se etiqueta cada bolsa llenada con un número.
6. Se realiza una inspección visual de cada bolsa y se toman notas para determinar la presencia o no de burbujas de aire.
7. Se almacena el producto llenado en un lugar fresco donde no reciba luz solar directa.

Una vez realizados ambos tipos de llenados, las bolsas se dejan almacenadas por 20 días contados a partir del llenado con máquina, ya que por conocimiento del personal se sabe que, en aproximadamente 15 días se presentará evidencia de caducidad si el producto estuviese contaminado.

4.2.1.4.3 Día 22. Visita una vez transcurridos 20 días después del llenado

1. Se toman las bolsas del llenado manual y se realiza una inspección visual de cada una, tomando notas para determinar la presencia de evidencia visual de caducidad.
2. Se toman las bolsas del llenado con máquina y se realiza una inspección visual de cada una, tomando notas para determinar la presencia de evidencia visual de caducidad.
3. Se desechan las bolsas con evidencia de caducidad.

4.2.1.5 Resultados

En la Tabla 4.1, se muestran los resultados de la primera inspección visual llevada a cabo los días 1 y 2, una vez selladas y etiquetadas las bolsas llenadas.

Tabla 4.1. Resultados de la primera inspección visual para determinar la presencia o no de aire en las bolsas, llevada a cabo los días 1 y 2 en las bolsas llenadas a mano y con máquina.

Núm. Bolsa	Llenado manual	Llenado con máquina	Núm. Bolsa	Llenado manual	Llenado con máquina
1	Ausencia aire	Ausencia aire	26	Ausencia aire	Ausencia aire
2	Ausencia aire	Presencia aire	27	Ausencia aire	Ausencia aire
3	Ausencia aire	Ausencia aire	28	Ausencia aire	Ausencia aire
4	Ausencia aire	Ausencia aire	29	Ausencia aire	Ausencia aire
5	Presencia aire	Ausencia aire	30	Ausencia aire	Ausencia aire
6	Ausencia aire	Ausencia aire	31	Ausencia aire	Ausencia aire
7	Ausencia aire	Ausencia aire	32	Ausencia aire	Ausencia aire
8	Ausencia aire	Ausencia aire	33	Ausencia aire	Ausencia aire
9	Presencia aire	Ausencia aire	34	Ausencia aire	Ausencia aire
10	Presencia aire	Ausencia aire	35	Ausencia aire	Ausencia aire
11	Ausencia aire	Ausencia aire	36	Presencia aire	Ausencia aire
12	Ausencia aire	Ausencia aire	37	Ausencia aire	Ausencia aire
13	Ausencia aire	Ausencia aire	38	Ausencia aire	Ausencia aire
14	Ausencia aire	Ausencia aire	39	Ausencia aire	Ausencia aire
15	Ausencia aire	Ausencia aire	40	Ausencia aire	Ausencia aire
16	Ausencia aire	Ausencia aire	41	Ausencia aire	Ausencia aire
17	Ausencia aire	Ausencia aire	42	Ausencia aire	Ausencia aire
18	Presencia aire	Ausencia aire	43	Presencia aire	Ausencia aire
19	Ausencia aire	Ausencia aire	44	Ausencia aire	Ausencia aire
20	Ausencia aire	Ausencia aire	45	Ausencia aire	Ausencia aire
21	Ausencia aire	Ausencia aire	46	Ausencia aire	Ausencia aire
22	Ausencia aire	Ausencia aire	47	Ausencia aire	Ausencia aire
23	Ausencia aire	Ausencia aire	48	Ausencia Aire	Ausencia Aire
24	Ausencia aire	Ausencia aire	49	Ausencia Aire	Ausencia Aire
25	Presencia aire	Ausencia aire			

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4.2. Resumen de resultados de la presencia de aire en las bolsas, llevada a cabo los días 1 y 2 en las bolsas llenadas a mano y con máquina.

	Total, bolsas llenadas	Bolsas con presencia de aire.	Bolsas con ausencia de aire.
Llenadas manualmente	49	6	43
Llenadas con máquina	49	1	48

Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 4.3 se muestran los resultados de la segunda inspección visual llevada a cabo el día 22, después del periodo de almacenamiento de las bolsas llenadas.

Tabla 4.3. Resultados de evidencia visual de caducidad, llevada a cabo el día 22 en las bolsas llenadas a mano y con máquina.

Núm. Bolsa	Evidencias Llenado manual	Evidencias Llenado con máquina	Núm. Bolsa	Evidencias Llenado manual	Evidencias Llenado con máquina
1	-	Muchas burbujas	26	-	Muchas burbujas
2	-	Burbujas e inflación	27	-	Muchas burbujas
3	-	Muchas burbujas	28	-	Muchas burbujas
4	-	Burbujas e inflación	29	-	Muchas burbujas
5	-	Burbujas e inflación	30	-	Muchas burbujas
6	-	Burbujas e inflación	31	-	Burbujas e inflación
7	-	Burbujas e inflación	32	-	Muchas burbujas
8	-	Burbujas e inflación	33	-	-
9	-	Burbujas e inflación	34	-	Burbujas e inflación
10	-	Burbujas e inflación	35	-	Muchas burbujas
11	-	Muchas burbujas	36	-	Muchas burbujas
12	-	Muchas burbujas	37	-	Burbujas e inflación
13	-	Burbujas e inflación	38	-	Burbujas e inflación
14	-	Burbujas e inflación	39	-	-
15	-	Muchas burbujas	40	-	Burbujas e inflación
16	-	Muchas burbujas	41	-	Burbujas e inflación
17	-	Muchas burbujas	42	-	Burbujas e inflación
18	-	Muchas burbujas	43	-	Muchas burbujas
19	-	Burbujas e inflación	44	-	-
20	-	Muchas burbujas	45	-	Burbujas e inflación
21	-	Muchas burbujas	46	-	-
22	-	Burbujas e inflación	47	-	-
23	-	Muchas burbujas	48	-	-
24	-	Burbujas e inflación	49	-	-
25	-	Burbujas e inflación			

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4.4. Resumen de resultados de evidencia visual de caducidad, llevada a cabo el día 22 en las bolsas llenadas a mano y con máquina.

	Total, bolsas llenadas	Bolsas con evidencia de fermentación	Bolsas sin evidencia de fermentación.
Llenadas manualmente	49	0	49
Llenadas con máquina	49	44	5

Fuente: Elaboración propia.

4.2.1.6 *Análisis de resultados*

Con base en los resultados de la Tabla 4.1 y Tabla 4.3, es posible determinar que el ingreso de burbujas de aire durante el llenado no es causa directa de caducidad de la jalea, ya que en el llenado manual se ingresaron burbujas de aire y ninguna de estas bolsas presentó evidencia de caducidad.

Como se muestra en la Tabla 4.3, en el día 22 no se observó espuma blanca ni bolsas estalladas, esto es esperable ya que, como se indicó anteriormente, estas evidencias aparecen en etapas avanzadas de la descomposición, lo cual indica que al día 20, un producto contaminado muestra evidencias de las primeras etapas de la fermentación.

Con base en los resultados de la Tabla 4.2 y Tabla 4.4, es posible analizar el nivel de injerencia de las posibles causas del problema en la caducidad de la jalea, a continuación, se explica el análisis para cada posible causa.

4.2.1.6.1 *Causa: Sellado de bolsas defectuoso.*

Puesto que todas las bolsas llenadas manualmente y con llenado de máquina fueron selladas con el mismo método por las mismas personas, se determina que esto no es una causa del problema, por lo que debe ser descartada y se considera **inexistente**.

4.2.1.6.2 *Causa: Bolsas sucias*

Dado que se utiliza el mismo lote de bolsas para los dos tipos de llenado, siendo las mismas desinfectadas con antelación y el problema se evidencia solamente en el llenado con máquina, es posible determinar que esta no es una causa del problema, por lo que debe ser descartada y se considera **inexistente**.

4.2.1.6.3 *Causa: Sistema de llenado introduce burbujas de aire en la jalea*

Después de la inspección visual llevada a cabo justo después de finalizada la etapa de llenado con máquina, se observa que prácticamente ninguna bolsa posee ingreso de aire, por tanto, la injerencia de esta causa en el problema puede considerarse como **marginal**.

4.2.1.6.4 *Causa: Ambiente contaminado*

Una vez realizada la prueba, es posible descartar esto como causa, ya que los llenados llevados a cabo se realizaron en el mismo ambiente, y ninguna bolsa llenada manualmente presentó caducidad temprana, por lo tanto, esta causa se considera como **inexistente**.

4.2.1.6.5 *Causa: Incorrecta manipulación del producto*

Esta causa se refiere a la manipulación que se hace con el producto al agregar producto faltante a las bolsas o remover excedente, debido a la imprecisión de llenado de la máquina. Sin embargo, puesto que el agregar y remover producto también se realiza en el llenado manual y en este no se observó la caducidad, es posible descartar la causa y considerarla como **inexistente**.

En el caso de las posibles causas detalladas a continuación, la determinación del nivel de injerencia no se determina con la prueba realizada, sino con base a normas y a pruebas de laboratorio.

4.2.1.6.6 *Causa: Conductos de abastecimiento de inadecuado material*

Esta causa se refiere exclusivamente al material con el que se ha construido la superficie en contacto con el producto, no a la suciedad o contaminación que pueda poseer la misma como consecuencia de una limpieza ineficiente. Con el estudio de esta posible causa, se desea validar que las superficies en contacto con la jalea no transfieran sus componentes a la misma y con esto se presente un peligro para la salud humana. [21]

En la norma *INTE/ISO 22004:2015*, se indica que los materiales en contacto con alimentos deben cumplir especificaciones de grado alimenticio. [7]. Es por esto que, para determinar si el material de los conductos cumple lo anteriormente indicado en la norma, se procede a desensamblar e inspeccionar los conductos de abastecimiento existentes. Con la inspección se determina que los conductos son de grado alimenticio, de modo que el material del conducto es de un material adecuado para su uso y este, al cumplir con la norma, no será considerado como una

causa de la caducidad temprana del producto. Por lo anterior, esta causa se descarta y se considera **inexistente**.

4.2.1.6.7 Causa: Émbolo del pistón de inadecuado material

Esta posible causa se refiere exclusivamente al material que compone el émbolo, es decir, el mismo caso expuesto en el análisis de la posible causa analizada anteriormente. Puesto que el émbolo del pistón también mantiene contacto directo con el producto, es de suma importancia que este sea de un material de grado alimenticio. Se procede a inspeccionar el émbolo y se determina que los materiales que lo componen son de grado alimenticio, por tanto, el material no es inadecuado, y esta causa debe ser descartada y se considera **inexistente**.

4.2.1.6.8 Causa: Conductos de abastecimiento de jalea sucios

Al inspeccionar los conductos de abastecimiento, se observa que estos poseen una parte tubular flexible tipo manguera y otra sólida de acero inoxidable, las cuales se unen.

Mediante inspección visual no es posible determinar si un componente o superficie se encuentra o no sucia, pero si es posible evaluar si estos poseen un diseño que facilita o dificulta las buenas prácticas de higiene. Cabe destacar que, en la norma *INTE AI:2020*, se indica que todo el equipo que vaya a estar en contacto con los alimentos debe estar diseñado de manera que se puedan limpiar y desinfectar adecuadamente. [9]

Después de analizar todos los conductos de abastecimiento, se determina que el único conducto que no cumple con la norma mencionada es la manguera, por su gran longitud, por lo tanto, para poder descartar o confirmar si este componente corresponde a un foco de contaminación, se realiza una prueba microbiológica en el laboratorio Lambda, en donde se obtiene como resultado, la confirmación de que en la manguera se encuentran coliformes fecales y totales, como se muestra en el Anexo A. Prueba microbiológica. Además, al consultar al personal sobre los conductos, ellos indican que la sección tipo manguera es muy difícil de lavar, puesto que es larga y de difícil acceso a la parte central, lo cual complica de igual modo la etapa de secado. Por todo esto, esta causa se considera de injerencia **importante**.

4.2.2 Injerencia de las posibles causas en defectos de peso

La prueba consiste en llevar a cabo el llenado de bolsas con la máquina y ver su comportamiento.

4.2.2.1 Objetivo

Determinar el nivel de participación de las posibles causas en los defectos de peso de las bolsas llenadas con la máquina.

4.2.2.2 Tamaño de muestra

Se determina que la población es de tipo infinita ya que se desconoce el tamaño de la población, por otro lado, se decide elegir una confiabilidad del 90% y un error de estimación máximo aceptado de 15%, con lo que se obtiene:

$$n = \frac{1.645^2 \cdot 0.5 \cdot 0.5}{0.15^2} \quad (4.4)$$

$$n = 30.07 \quad (4.5)$$

Puesto que el tamaño de muestra es mayor a 30 y este corresponde al valor mínimo a utilizar para cumplir con la confiabilidad y error definidos, se determina que es necesario realizar al menos 31 ejecuciones para cada presentación de empaque para que la media muestral sea representativa.

4.2.2.3 Procedimiento

Para poder determinar el nivel de influencia de cada posible causa en los defectos de peso, es necesario realizar una prueba de dosificado con la máquina, de modo que sea posible observar y analizar el comportamiento de sus componentes y la influencia de estos en el dosificado.

1. Se llenan envases de 250 g.
2. Se llenan envases de 500g.
3. Para cada llenado se toma nota de los gramos dosificados.
4. Se realizan anotaciones del comportamiento de los componentes durante el llenado.
5. Se anota la posición del final de carrera antes y después del llenado.

4.2.2.4 Resultados

Durante la prueba se obtuvieron los resultados mostrados en la Tabla 4.5 y Tabla 4.6.

Tabla 4.5. Masa dosificada para empaques de 500 g en prueba diagnóstico.

Medición	Masa (m±1) g	Medición	Masa (m±1) g
1	510	17	511
2	508	18	512
3	512	19	526
4	513	20	528
5	510	21	525
6	514	22	521
7	516	23	523
8	518	24	518
9	516	25	519
10	513	26	518
11	517	27	516
12	518	28	517
13	519	29	521
14	521	30	520
15	516	31	519
16	523		
Promedio de todas las mediciones (g)		517	
Desv. Est. de todas las mediciones (g)		4.89	

Fuente: Elaboración propia

Tabla 4.6. Masa dosificada para empaques de 250 g en prueba diagnóstico.

Medición	Masa (m±1) g	Medición	Masa (m±1) g
1	260	17	275
2	265	18	268
3	263	19	274
4	274	20	275
5	271	21	274
6	274	22	278
7	279	23	277
8	265	24	267
9	266	25	265
10	274	26	277
11	274	27	265
12	264	28	281
13	265	29	282
14	276	30	279
15	275	31	279
16	266		
Promedio de todas las mediciones (g)		272	
Desv. Est. de todas las mediciones (g)		6.13	

Fuente: Elaboración propia

Anotaciones del comportamiento del sistema durante el llenado:

- El compresor constantemente recarga aire, durante la prueba se observa que se enciende y se apaga constantemente. Aproximadamente después de 4 accionamientos del pistón.
- Durante el tiempo de recarga del compresor el movimiento del pistón es sumamente lento.
- Algunas veces el embolo del pistón se detiene durante la extensión y luego de unos segundos avanza de manera explosiva hasta accionar el final de carrera, para posteriormente contraer el émbolo.
- Durante la succión, la manguera se mueve mucho, por lo que se sujeta a la estructura de la máquina para evitar que caiga.
- El movimiento de la manguera durante la succión genera vibraciones.
- El mayor desplazamiento del final de carrera una vez concluido el llenado fue de (8.86 ± 0.01) mm y (6.52 ± 0.01) mm para bolsas de 250 g y 500 g respectivamente.

4.2.2.5 Análisis de Resultados

El análisis de los resultados a partir de la prueba u otra información se hará en cada una de las posibles causas a continuación.

4.2.2.5.1 *Causa: Diseño del ingreso del producto*

El ingreso de la jalea consiste en una manguera larga que se apoya sobre la máquina. Durante la prueba realizada, fue posible observar que la manguera se mueve considerablemente mientras se da la succión, haciendo necesario sujetarla, esto genera vibraciones indeseadas que pueden contribuir al movimiento del final de carrera y por tanto influir directamente en la precisión del llenado.

Por otro lado, la gran longitud de la manguera genera que el volumen de producto que se deba succionar sea muy grande, lo cual sobrecarga al sistema neumático. Por tanto, esta causa se considera de injerencia **importante**.

4.2.2.5.2 *Causa: Ineficiente sujeción del final de carrera*

Puesto que el sistema dosificador consiste en un final de carrera de ajuste mediante deslizamiento manual, es de suma importancia que el mismo no cambie de posición cuando se

encuentre ajustado. Durante la ejecución de la prueba, fue posible observar que el final de carrera se mueve, lo cual afecta la dosificación directamente, es por esto por lo que esta causa se considera **importante**.

4.2.2.5.3 Causa: Sistema Neumático inadecuado

Después de un corto período de tiempo de funcionamiento de la máquina, es posible observar que el compresor comienza a recargar aire constantemente, el pistón se desplaza a menor velocidad y a veces se detiene completamente para luego realizar movimientos explosivos, lo cual indica que se debe hacer una revisión de los requerimientos del sistema neumático para determinar si los componentes neumáticos existentes las satisfacen, por tanto, es **importante** considerar esta causa. El análisis de requerimientos se realiza en la sección Diseño del sistema neumático.

Es importante agregar que el encargado indica que la elección del compresor neumático la realizaron los propietarios de la empresa sin ningún criterio técnico, ya que la máquina no lo incluía y no recibieron asesoramiento para ello.

4.2.2.5.1 Causa: Programa de mantenimiento preventivo

A los componentes de la máquina nunca se le ha dado mantenimiento diferente al lavado de los conductos antes y después del uso, por tanto, la máquina no cuenta con un programa de mantenimiento para los actuadores o demás componentes. Sin embargo, también fue informado por el gerente que esta máquina se compró nueva pero incluso en su primer uso su desempeño ha sido el mismo, por lo que su funcionamiento incorrecto no es atribuible al mantenimiento que ha recibido. Por tanto, esto se descarta como posible causa del problema y se considera **inexistente**.

4.2.3 Resultados a partir de las pruebas

A modo resumen, se muestran los resultados del análisis de la injerencia de las posibles causas en el problema, el diagrama de causa-efecto generado se muestra en la Figura 4.2.

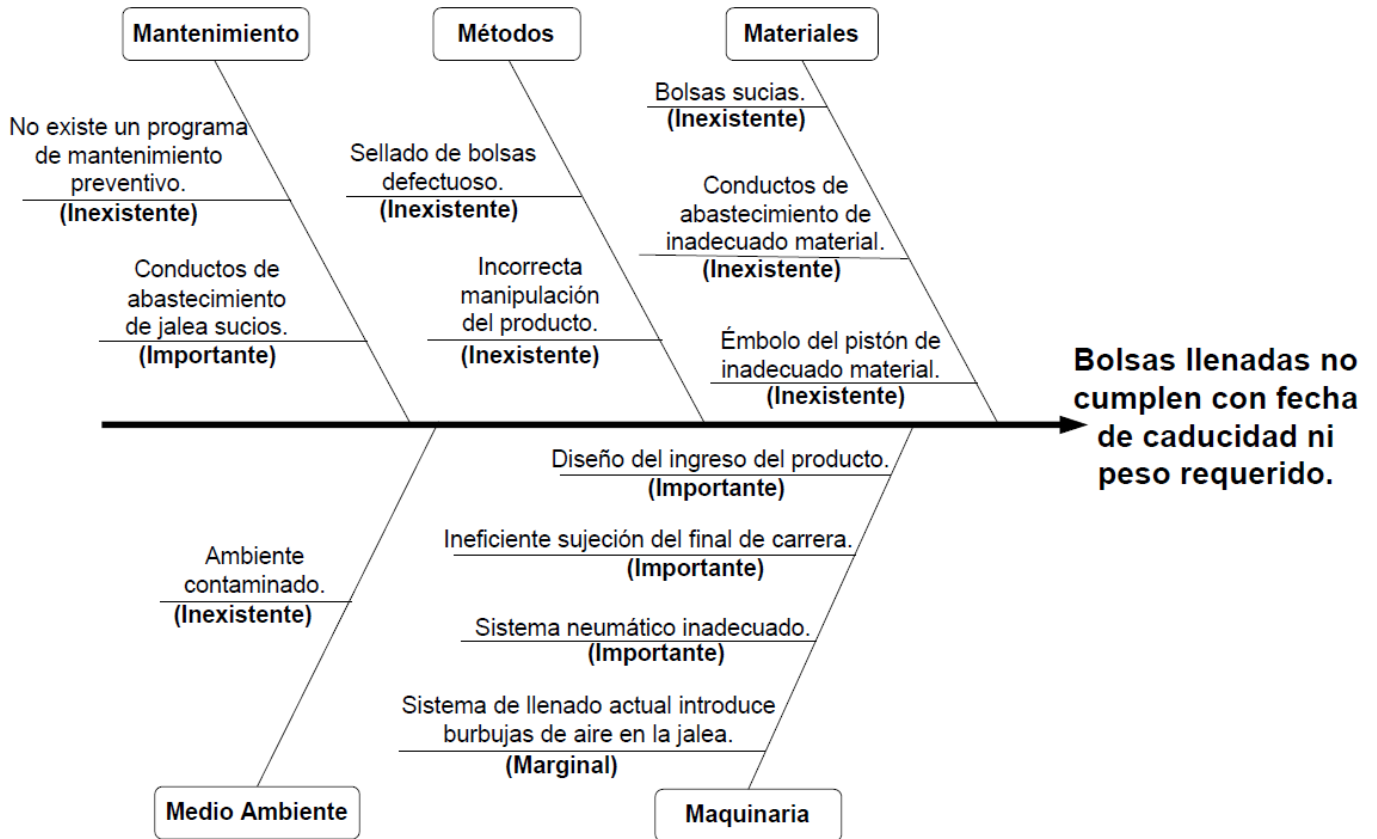


Figura 4.2. Diagrama Causa-Efecto con resultados del diagnóstico de la máquina. Fuente:
Elaboración Propia

Como es posible observar en la Figura 4.2, muchas de las posibles causas definidas al inicio del diagnóstico, han sido descartadas, por lo que no serán parte del enfoque de solución del presente proyecto. Por otro lado, con el fin de elegir las causas que afectan en mayor medida el problema planteado, se decide atacar solamente aquellas cuya injerencia en el problema sea *importante*.

En la Figura 4.3, se muestra un nuevo diagrama causa-efecto donde solo se muestran las causas de interés para el presente proyecto.

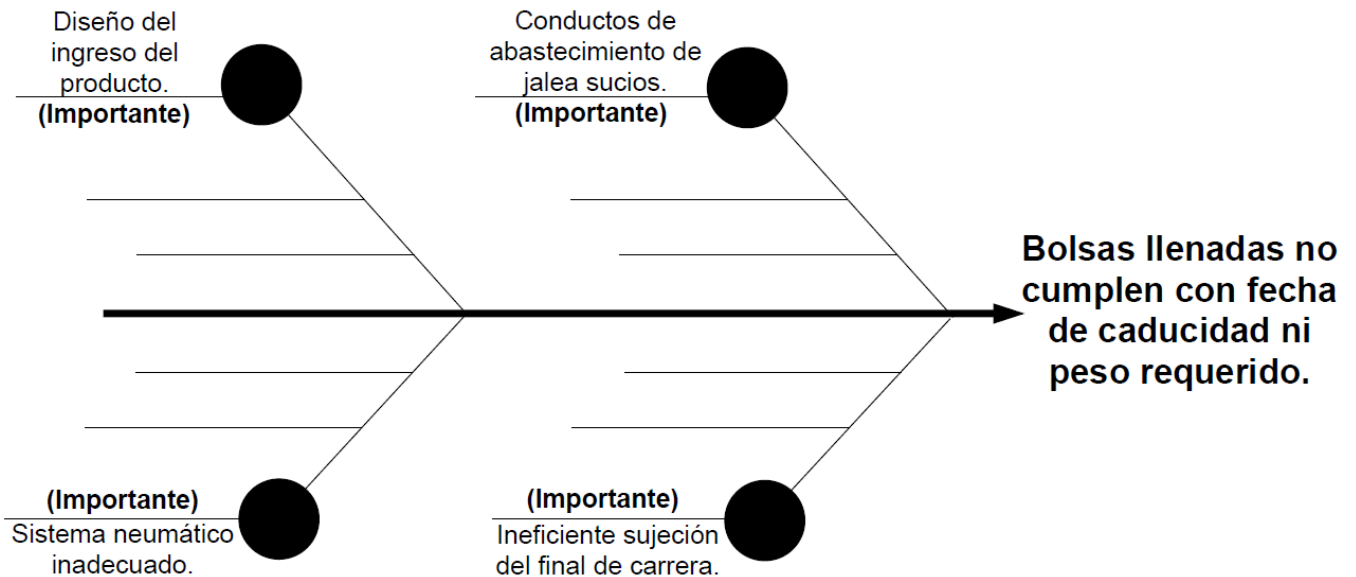


Figura 4.3. Diagrama causa-efecto final. Fuente: Elaboración Propia.

En la Figura 4.3 es posible observar que las dos causas mostradas en la zona superior pueden ser resueltas de manera conjunta, ya que, al proponer una solución para el diseño del ingreso de jalea a la máquina, este debe cumplir las recomendaciones de las normas alimenticias aplicables en Costa Rica. De modo que se realizará el diseño pensando en la facilidad de limpieza, por lo que ambas causas se atacan de manera conjunta.

Para dar solución a la causa: ineficiente sujeción del final de carrera, se desarrollará la metodología de diseño en la sección Metodología.

Finalmente, en el caso del sistema neumático, a este se le dará solución de igual modo en la sección Metodología, después de seleccionar la solución para las causas de: diseño del ingreso del producto y conductos de abastecimiento sucios, ya que el diseño de la solución propuesta para estas dos causas afectará a los cálculos que determinarán los requerimientos que deberá cumplir el sistema neumático, lo cual definirá si el actual sistema neumático con el que cuenta la empresa podrá ser reutilizado, modificado o si deberá ser sustituido por completo.

Capítulo 5. Metodología

La metodología empleada en el proyecto corresponde a la presentada en el libro Diseño y desarrollo de productos [22].

Como indican los autores de [22], la metodología se concentra en el desarrollo de productos físicos, discretos e ingenieriles, y los métodos que explica aplican bien a productos que incluyen aparatos electrónicos, instrumentos científicos, dispositivos médicos y máquinas herramienta. Dado que en el presente proyecto se rediseña una máquina, esta metodología se considera apta para el proyecto.

La metodología divide el proceso de desarrollo de productos en fases secuenciales, las cuales contienen métodos a seguir paso a paso para completar las distintas actividades de desarrollo. [22]

El seguimiento de la metodología presentada en [22] facilita la solución de problemas y la toma de decisiones, siendo esto uno de los grandes retos a enfrentar en el proceso de diseño. En casi cualquier etapa de la metodología puede descubrirse nueva información u otros resultados que obliguen al o los desarrolladores a repetir una actividad anterior antes de continuar con las demás, lo cual refleja la importancia de esta metodología, ya que sus métodos permiten el auto registro del proceso de toma de decisiones, permitiendo que este pueda ser consultado en etapas futuras, también facilita la comprensión de los fundamentos de cada decisión y asegura que el avance del proyecto se dé sin basarse en decisiones no fundamentadas. [22]

Las fases de la metodología desarrolladas en el presente proyecto incluyen: Determinación de necesidades, Especificaciones del producto, Generación de conceptos y Selección y Evaluación de conceptos. La relación entre las fases de la metodología se muestra en la Figura 5.1.

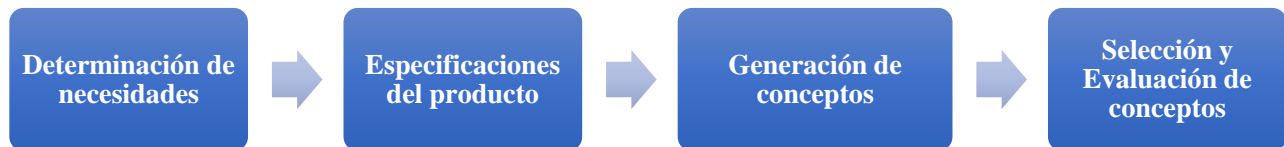


Figura 5.1. Fases desarrolladas de la metodología de Diseño y desarrollo de productos.

Fuente: Elaboración propia.

5.1 Determinación de Necesidades

Una necesidad según [19], “constituye una declaración de aquello que debe cumplir la solución desarrollada para ser considerada válida **desde un punto de vista conceptual** (es decir, son atributos deseados por el cliente)”.

El objetivo de esta actividad es entender las necesidades del cliente y definirlas como enunciados, evitando los sesgos. [22]

Para la determinación de necesidades se desarrollarán las siguientes etapas:

Recopilar datos sin procesar de los clientes: Para la recopilación de datos se preparan preguntas y se realizan entrevistas presenciales a los colaboradores y al gerente de la empresa.

Interpretar los datos sin procesar en términos de las necesidades de clientes: En esta etapa se procede a extraer la información de las entrevistas y a redactar de manera adecuada las necesidades expuestas por el cliente. [23]

Organizar las necesidades en una jerarquía: En la jerarquización se organizan las necesidades procesadas en grupos. La intención es que aquellas necesidades que el cliente vería como semejantes se encuentren en el mismo grupo y de este modo se cree una descripción de las necesidades agrupadas. [22]

Establecer la importancia relativa de las necesidades: En esta etapa se consultará al cliente su opinión sobre la importancia de cada necesidad procesada, esta información puede ser de gran utilidad durante el proceso de desarrollo de productos ya que, al momento de tomar decisiones en cuanto a la asignación de recursos, sea posible basarse en la importancia que cada necesidad tiene para el cliente. [22]

5.2 Especificaciones del producto

Según [24], “una especificación es el método que usamos para convertir las necesidades del cliente (lenguaje de percepciones) en una serie de expresiones que permitan la medición del índice de cumplimiento de esas necesidades (lenguaje de acciones)”. Las especificaciones tienen que ser concretas, medibles y adecuadas para medir el grado de cumplimiento de las necesidades. [24]

Las especificaciones se componen por la métrica y el valor o valores objetivo. Para la determinación de especificaciones se desarrollarán las siguientes etapas:

Elaborar la lista de métricas: La métrica según [24], “es una expresión cuantificable de un atributo que debe poseer el producto”. De ser posible, las métricas deben ser variables dependientes, medibles e incluir su importancia y unidades de medida. Debe existir mínimo una métrica por cada necesidad.

Recabar información que provea contexto: En esta etapa se realizará la búsqueda de información que permita el establecimiento de los valores meta de las métricas.

Establecer valores meta ideales y marginalmente aceptables: Los valores meta indican el grado de cumplimiento deseado en cada métrica. Los valores ideales son los que deberían alcanzarse en el mejor de los casos, mientras que los valores marginales también son aceptables, pero menos restrictivos que los ideales. [24]

5.3 Generación de conceptos

El concepto de un producto es una descripción aproximada de los principios de trabajo y forma del producto, para describir los conceptos es posible el uso de bocetos que ayuden a expresar la idea. [22]

Según [22], “El proceso de generación de conceptos empieza con un conjunto de necesidades del cliente y especificaciones objetivo, lo cual da como resultado un conjunto de conceptos del producto de los que el equipo hará una selección final” en la fase de Selección y Evaluación de Conceptos. La generación de conceptos es de gran importancia ya que estimula la exploración de varias alternativas de solución.

Para la generación de conceptos, se desarrollarán las siguientes etapas:

Descomposición funcional del problema: En la descomposición se desea describir los elementos funcionales del producto. Primeramente, se inicia por la determinación de la función general del producto y de aquí se procede a dividirla en subfunciones, según [22], “para crear una descripción más específica de lo que los elementos del producto podrían hacer para implementar la función general del producto”.

Enfoque del trabajo en subproblemas de interés: Una vez realizada la descomposición del problema, es posible enfocar el trabajo en aquellos subproblemas que sean más críticos para el éxito del producto [22].

Búsqueda Interna de conceptos: En la búsqueda de conceptos se busca generar una lista de ideas o conceptos que puedan ser la base de soluciones de los diferentes subproblemas de interés. La principal herramienta para la búsqueda interna es la conocida como “tormenta de ideas”. Si bien algunas ideas pueden resultar inadmisibles, es importante destacar que en esta etapa se debe suspender cualquier tipo de juicio y no se debe realizar ningún tipo de selección, eliminación, categorización ni filtrado de las mismas. [25]

Búsqueda Externa de conceptos: En esta búsqueda no se realizan tormentas de ideas, sino, se consultan fuentes externas de información, las ventajas de esta búsqueda es que reduce sesgos y limitaciones de la búsqueda interna y optimiza el tiempo del diseñador o equipo. [25]

Organización y combinación de conceptos: En esta etapa se utilizan árboles de clasificación para organizar gráficamente los conceptos generados en la etapa anterior y facilitar su análisis (agregando o eliminando conceptos según se considere adecuado). Otra herramienta que puede utilizarse en esta etapa son las tablas de combinación, las cuales combinan conceptos de diversos subproblemas para dar origen a una solución candidata [25]. Las tablas son de utilidad si se dispone de conceptos que se relacionan entre sí, ya que combinar conceptos independientes, con poca o nula relación no es provechoso, esto porque se puede obtener la solución candidata de cada concepto por separado y luego unirlos para formar un concepto final.

5.4 Selección y Evaluación de Conceptos

Según [22], “La selección del concepto es el proceso para evaluar conceptos con respecto a las necesidades del cliente, comparando los puntos relativamente fuertes y débiles de los conceptos, y seleccionando uno o más de éstos para su posterior investigación, prueba o desarrollo”.

Para la selección y evaluación de conceptos se siguen los pasos descritos en [26], ya que según [26], los métodos de selección de conceptos empleados en el libro Diseño y desarrollo de productos, “dependen muy fuertemente de aspectos subjetivos, y que no ayudan a la trazabilidad ni a la discusión, por lo que conviene abordar otro tipo de enfoque más formal y establecido”.

Esta fase se compone de dos etapas: filtrado y evaluación. Según [26], en la primera “se busca eliminar conceptos claramente desfavorables, determinar el rendimiento de cada concepto en cada uno de los factores en base a los cuales se evalúa, favorecer la mejora de conceptos o la construcción de conceptos combinados”. La segunda etapa tiene como objetivo principal

seleccionar un concepto ganador mediante la ponderación de los criterios a utilizar, según la importancia de cada uno.

Capítulo 6. Determinación de Especificaciones

Como se ha mencionado, para determinar las especificaciones es necesario contar con las necesidades procesadas, es por ello por lo que en este capítulo primeramente se determinarán las necesidades para posteriormente proceder con la determinación de las especificaciones.

6.1 Determinación de Necesidades

La determinación de necesidades corresponde a la primera mitad del capítulo, como se muestra en la Figura 6.1. Para determinar las necesidades se seguirán los pasos explicados en la sección denominada Metodología.

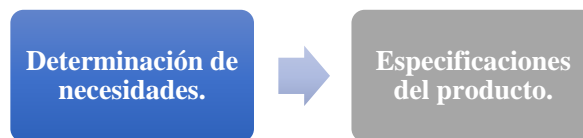


Figura 6.1. Fase Determinación de necesidades. Fuente: Elaboración propia.

6.1.1 Recopilar datos sin procesar de los clientes.

Como se muestra en la Figura 6.2, esta corresponde a la primera etapa de la determinación de necesidades.

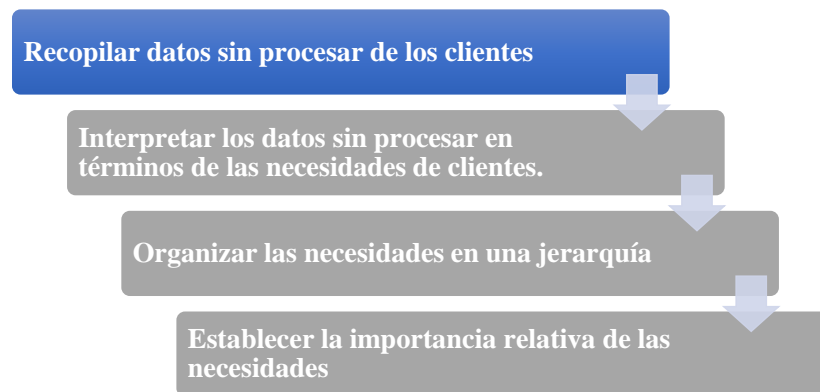


Figura 6.2. Etapa 1 de la determinación de necesidades. Fuente: Elaboración propia.

Aquí se llevan a cabo las entrevistas a los colaboradores de la empresa, y se consultan aspectos administrativos como presupuesto, y aspectos generales o técnicos que se deseen mantener o cambiar de la máquina actual. La documentación de la información recolectada se realiza mediante la grabación de voz de las entrevistas. En la Tabla 6.1 se muestran los enunciados expresados por el cliente durante las entrevistas.

6.1.2 Interpretar los datos sin procesar en términos de las necesidades de clientes.

Como se muestra en la Figura 6.3, esta corresponde a la segunda etapa de las necesidades.

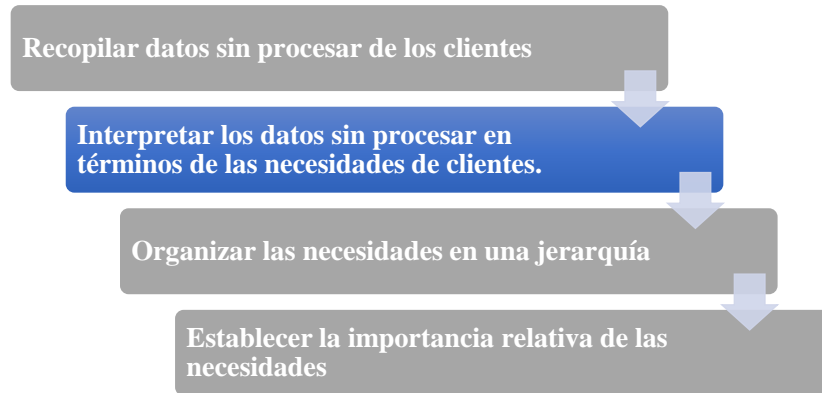


Figura 6.3. Etapa 2 de la determinación de necesidades. Fuente: Elaboración propia.

Para la adecuada expresión de las necesidades, se redactan los enunciados en forma afirmativa siempre que sea posible, se expresan las necesidades como atributos del producto y se evita emplear las palabras “debe” y “debería”. [19]

Las necesidades procesadas se muestran en la Tabla 6.1.

Tabla 6.1. Procesado de necesidades a partir de frases expresadas por el cliente.

Enunciado del cliente	Necesidad interpretada
La máquina no debe afectar la fecha de caducidad del producto.	El sistema cumple con estándares sanitarios.
Dosificación precisa, que no coloque menos producto ni mucho.	El sistema de dosificado es preciso.
Me interesa que yo manualmente coloque las bolsas a llenar, no quiero una cinta transportadora que aumente el costo.	El sistema siempre recibe las bolsas a llenar manualmente.
Llenado rápido, por ejemplo, para una bolsa de 500 g, un tiempo de llenado de 1 min es demasiado tiempo.	El sistema de dosificado es rápido.
Me gusta que la máquina actualmente tiene 2 métodos de llenado, automático y manual.	El sistema posee dosificado manual.
	El sistema posee dosificado automático.

Me gusta que el llenado automático siga tardando 3 segundos entre cada llenado para tener tiempo de tomar otro empaque.	El sistema de dosificado automático posee un margen de tiempo entre cada llenado que permita sustituir el empaque llenado.
Me gustaría que el llenado automático se detenga cuando presiono el pedal y que al volver a presionar el pedal se reanude.	El sistema pausa el llenado automático por acción del operario.
	El sistema reanuda el llenado automático por acción del operario.
Quiero que se puedan llenar las bolsas de 500 g y 250 g.	El sistema llena bolsas de 500 g.
	El sistema llena bolsas de 250 g.
Quiero poder controlar la máquina desde el área de llenado sin moverme.	El sistema es controlado desde la estación de llenado.
La máquina debe ser fácil de limpiar para evitar que queden restos del producto, debo poder limpiar todas las superficies en contacto con el producto.	El sistema es de fácil mantenimiento.
	El sistema es fácil de ensamblar.
	El sistema es fácil de desensamblar.
No quiero una tolva, porque es demasiado complicado levantar los contenedores pesados para depositar la jalea. La máquina debe de succionar producto desde el contenedor.	El sistema de ingreso de jalea se hace desde el contenedor.
Si existiera la posibilidad me gustaría que la máquina se detenga cuando se acaba la jalea del contenedor.	El sistema se detiene cuando se acaba el producto.
La máquina debe ser lo más simple posible para que sea fácil de usar por adultos mayores, no queremos que sea difícil de manipular, tampoco que se tenga que controlar por una pantalla. Es mejor que tenga pocos botones y el uso sea simple.	El sistema es utilizado por cualquier miembro del personal.
	El sistema es de uso intuitivo.
El costo debe ser el mínimo posible, sin afectar la calidad del producto.	El sistema es de bajo costo.

Fuente: Elaboración propia.

6.1.3 Organizar las necesidades en una jerarquía

Esta es la tercera de la etapa de determinación de necesidades, como se muestra en la Figura 6.4.

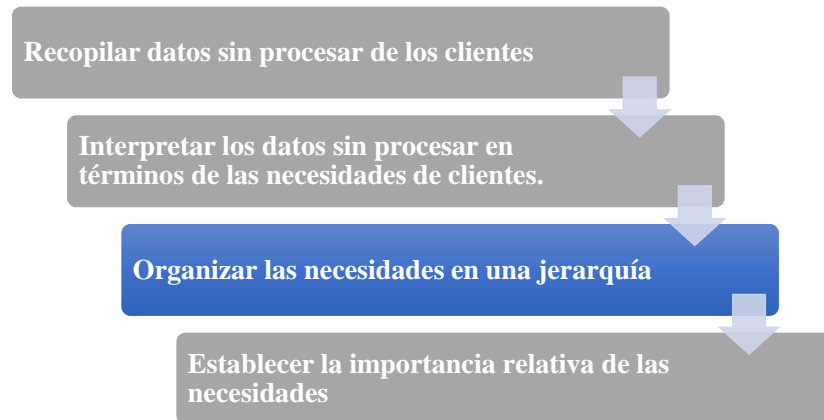


Figura 6.4. Etapa 3 de la determinación de necesidades. Fuente: Elaboración propia.

En esta etapa se trata de agrupar las necesidades en niveles primarios, secundarios y de ser necesario, terciarios. Según [22], “las necesidades primarias son las más generales, mientras que las secundarias y las terciarias expresan necesidades con mayor detalle”. La etiqueta de cada grupo es una necesidad que expresa a modo general, las necesidades del grupo. Esta etiqueta se puede crear o bien puede ser una necesidad existente en el grupo”. La jerarquización de necesidades se muestra en la Tabla 6.2.

Tabla 6.2. Lista jerárquica de necesidades primarias y secundarias del cliente para el sistema de llenado.

	El sistema de dosificado es confiable.
El sistema	de dosificado es preciso.
El sistema	de dosificado es rápido.
El sistema	se detiene cuando se acaba el producto.
El sistema	permite llenar bolsas de 500 g.
El sistema	permite llenar bolsas de 250 g.
	El sistema es fácil de utilizar.
El sistema	es utilizado por cualquier miembro del personal.
El sistema	es de uso intuitivo.
El sistema	de dosificado automático posee un margen de tiempo entre cada llenado que permita sustituir el empaque llenado.
El sistema	de ingreso de jalea se hace desde el contenedor.
El sistema	es de fácil mantenimiento.
El sistema	es fácil de ensamblar.
El sistema	es fácil de desensamblar.
	El sistema es controlado desde la estación de llenado.
El sistema	posee dosificado manual.
El sistema	posee dosificado automático.
El sistema	pausa el llenado automático por acción del operario.
El sistema	reanuda el llenado automático por acción del operario.
	El sistema siempre recibe las bolsas a llenar manualmente.
	El sistema cumple con estándares sanitarios.
	El sistema es de bajo costo.

Fuente: Elaboración propia.

6.1.4 Establecer la importancia relativa de las necesidades

Esta corresponde a la última fase de la determinación de necesidades, como se muestra en la Figura 6.5.

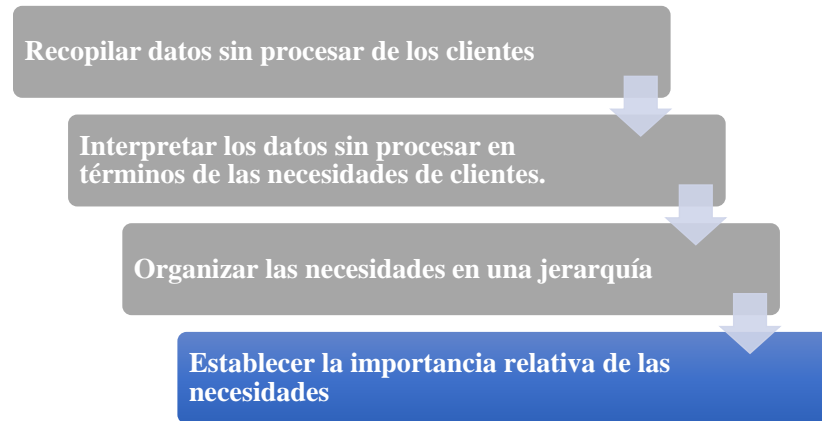


Figura 6.5. Etapa 4 de la determinación de necesidades. Fuente: Elaboración propia.

La determinación de la importancia de cada necesidad se realiza a criterio del cliente, para esto se envía un cuestionario al gerente posterior a la entrevista en donde este podrá indicar la importancia de cada necesidad.

La escala de calificación utilizada en la encuesta fue la siguiente:

1. La función es indeseable. No consideraría un producto con esta función.
2. La función no es importante, pero no me importaría tenerla.
3. Sería bueno tener esa función, pero no es necesaria.
4. La función es altamente deseable, pero consideraría un sistema sin ella.
5. La función es de importancia crítica. No consideraría un sistema sin esta función.

La jerarquización de necesidades y su importancia se muestra en la Tabla 6.3.

Tabla 6.3. Lista jerárquica de necesidades primarias y secundarias del cliente para el sistema de llenado. Las clasificaciones de importancia para las necesidades secundarias están indicadas por el número de asteriscos, donde tres asteriscos denotan necesidades de importancia crítica para el sistema. Las necesidades latentes están denotadas por el signo (!).

	El sistema de dosificado es confiable.
***	El sistema de dosificado es preciso.
***	El sistema de dosificado es rápido.
**!	El sistema se detiene cuando se acaba el producto.
***	El sistema permite llenar bolsas de 500 g.
***	El sistema permite llenar bolsas de 250 g.
	El sistema es fácil de utilizar.
***	El sistema es utilizado por cualquier miembro del personal.
***	El sistema es de uso intuitivo.
***	El sistema de dosificado automático posee un margen de tiempo entre cada llenado que permita sustituir el empaque llenado.
***	El sistema de ingreso de jalea se hace desde el contenedor.
***	El sistema es de fácil mantenimiento.
***	El sistema es fácil de ensamblar.
***	El sistema es fácil de desensamblar.
**	El sistema es controlado desde la estación de llenado.
***	El sistema posee dosificado manual.
***	El sistema posee dosificado automático.
**!	El sistema pausa el llenado automático por acción del operario.
**!	El sistema reanuda el llenado automático por acción del operario.
***	El sistema siempre recibe las bolsas a llenar manualmente.
***	El sistema cumple con estándares sanitarios.
***	El sistema es de bajo costo.

Fuente: Elaboración propia

A modo resumen, se presentan las necesidades numeradas y su respectiva importancia en la Tabla 6.4.

Tabla 6.4. Necesidades del cliente para el sistema de llenado y su importancia relativa.

Núm.	Necesidad		Imp.
1	El sistema	de dosificado es preciso.	5
2	El sistema	de dosificado es rápido.	5
3	El sistema	se detiene cuando se acaba el producto.	4!
4	El sistema	permite llenar bolsas de 500 g.	5
5	El sistema	permite llenar bolsas de 250 g.	5
6	El sistema	es utilizado por cualquier miembro del personal.	5
7	El sistema	es de uso intuitivo.	5
8	El sistema	de dosificado automático posee un margen de tiempo entre cada llenado que permita sustituir el empaque llenado.	5
9	El sistema	de ingreso de jalea se hace desde el contenedor.	5
10	El sistema	es de fácil mantenimiento.	5
11	El sistema	es fácil de ensamblar.	5
12	El sistema	es fácil de desensamblar.	5
13	El sistema	es controlado desde la estación de llenado.	4
14	El sistema	posee dosificado manual.	5
15	El sistema	posee dosificado automático.	5
16	El sistema	pausa el llenado automático por acción del operario.	4!
17	El sistema	reanuda el llenado automático por acción del operario.	4!
18	El sistema	siempre recibe las bolsas a llenar manualmente.	5
19	El sistema	cumple con estándares sanitarios.	5
20	El sistema	es de bajo costo.	5

Fuente: Elaboración propia.

6.2 Especificaciones del producto

Una vez que se han determinado las necesidades, es posible continuar con la segunda mitad del capítulo, como se muestra en la Figura 6.6.

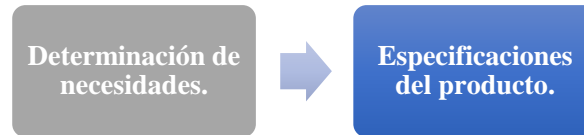


Figura 6.6. Fase Especificaciones del producto. Fuente: Elaboración propia.

6.2.1 Elaborar la lista de métricas

Esta corresponde a la primera etapa de la fase de Especificaciones, como se muestra en la Figura 6.7.

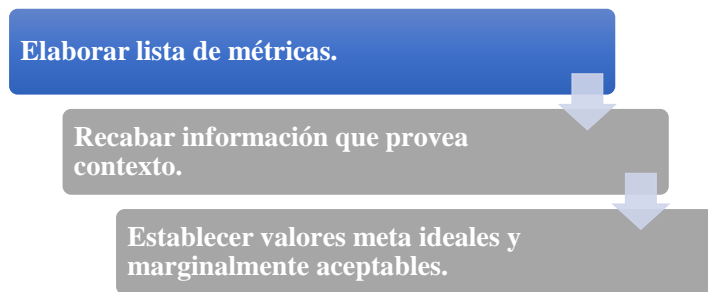


Figura 6.7. Etapa 1 de las especificaciones del producto. Fuente: Elaboración propia.

Para la definición de las métricas se parte de las necesidades declaradas, se toman una a una las necesidades de la Tabla 6.4 y se traducen a métricas con su respectiva unidad de medida.

Para la generación de métricas, se debe cumplir lo siguiente: [22], [23], [24]

- Describir de manera completa cada necesidad (siempre que sea posible).
- Corresponder a variables dependientes.
- Ser cuantificables (siempre que sea posible).
- Incluir criterios estandarizados (siempre que sea posible).
- No ser binarias (siempre que sea posible).
- Incluir su importancia y unidad de medida.

El proceso de definición de métricas se hace en el orden de las necesidades, y por cada métrica creada, se revisan todas las demás necesidades para determinar si esta métrica se relaciona también con alguna de las otras necesidades definidas. [23]

En el caso que una métrica se relacione con más de una necesidad y estas posean diferente importancia, se establece que la importancia de la métrica será igual a la importancia más alta que posean las necesidades relacionadas. Por ejemplo, en caso de que una métrica corresponda con dos necesidades, donde una posee importancia 3 y la otra importancia 5, la importancia de esta métrica será de 5. [23]

Las métricas creadas para el sistema de llenado se muestran en la Tabla 6.5.

Tabla 6.5. Lista de métricas para el sistema de llenado. La importancia relativa de cada métrica y las unidades también se muestran. "Subj." es una abreviatura que indica que la métrica es subjetiva.

Métrica núm.	Núm. de necesidad	Métrica	Imp.	Unidades
1	1	Precisión de dosificado.	5	%
2	2	Velocidad de dosificado.	5	ml/s
3	1, 3	Tiempo en detener llenado cuando se acaba el producto.	5	s
4	4, 5, 14	Volumen de producto llenado con dosificado manual.	5	ml
5	4, 5, 15	Volumen de producto llenado con dosificado automático.	5	ml
6	6, 7, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15	Grado de dificultad para manejar el sistema.	5	Subj.
7	6, 8, 13, 15	Tiempo de espera entre cada llenado, durante el llenado automático.	5	s
8	9	Porcentaje de producto ingresado desde el contenedor.	5	%
9	10, 11, 12	Tiempo de realización del mantenimiento.	5	min
10	10	Número de personas necesarias para la realización del mantenimiento.	5	--
11	11	Número de personas necesarias para ensamblaje.	5	--
12	12	Número de personas necesarias para des ensamblaje.	5	--
13	13	Distancia entre accionadores manuales y el área de llenado.	4	cm
14	16	Tiempo que tarda el llenado automático pausado.	4!	s
15	17	Tiempo que tarda el llenado automático en des pausarse.	4!	s
16	18	Porcentaje de empaques colocados manualmente en el área de llenado.	5	%
17	19	Cumple con la norma INTE A1:2020.	5	Binaria
18	20	Costo de manufactura.	5	CRC

Fuente: Elaboración propia.

Seguidamente, puesto que se espera que todas las necesidades posean una métrica o más relacionadas, se procede a realizar el análisis de correspondencia necesidades – métricas. Para revisar esto de manera gráfica, se realiza la matriz mostrada en la Tabla 6.6. [23]

Tabla 6.6. Matriz necesidades-métricas.

Necesidad	Métrica	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
		Precisión de dosificado.	Velocidad de dosificado.	Tiempo en detener llenado cuando se acaba el producto.	Volumen de producto llenado con dosificado manual.	Volumen de producto llenado con dosificado automático.	Grado de dificultad para manejar el sistema.	Tiempo de espera entre cada llenado, durante el llenado automático.	Porcentaje de producto ingresado desde el contenedor.	Tiempo de realización del mantenimiento.	Número de personas necesarias para la realización del mantenimiento.	Número de personas necesarias para ensamble.	Número de personas necesarias para desensamble.	Distancia entre accionadores manuales y el área de llenado.	Tiempo que tarda el llenado automático pausado.	Tiempo que tarda el llenado automático en despausarse.	Porcentaje de empaques colocados manualmente en el área de llenado.	Cumple con la norma INTE A1:2020.	Costo de manufactura.
1	El sistema de dosificado es preciso.	•		•															
2	El sistema de dosificado es rápido.		•																
3	El sistema se detiene cuando se acaba el producto.			•															
4	El sistema permite llenar bolsas de 500 g.				•	•													
5	El sistema permite llenar bolsas de 250 g.				•	•													
6	El sistema es utilizado por cualquier miembro del personal.						•	•											
7	El sistema es de uso intuitivo.						•												
8	El sistema de dosificado automático posee un margen de tiempo entre cada llenado que permita sustituir el empaque llenado.							•											
9	El sistema de ingreso de jalea se hace desde el contenedor.						•		•										
10	El sistema es de fácil mantenimiento.						•			•	•								
11	El sistema es fácil de ensamblar.						•			•		•							
12	El sistema es fácil de desensamblar.						•			•			•						
13	El sistema es controlado desde la estación de llenado.						•	•						•					
14	El sistema posee dosificado manual.				•		•												
15	El sistema posee dosificado automático.					•	•	•											
16	El sistema pausa el llenado automático por acción del operario.														•				
17	El sistema reanuda el llenado automático por acción del operario.															•			
18	El sistema siempre recibe las bolsas a llenar manualmente.																•		
19	El sistema cumple con estándares sanitarios.																	•	
20	El sistema es de bajo costo.																		•

Fuente: Elaboración propia

6.2.2 Recabar información que provea contexto

Una vez elaborada la lista de métricas, se continúa con la segunda fase como se muestra en la Figura 6.8.

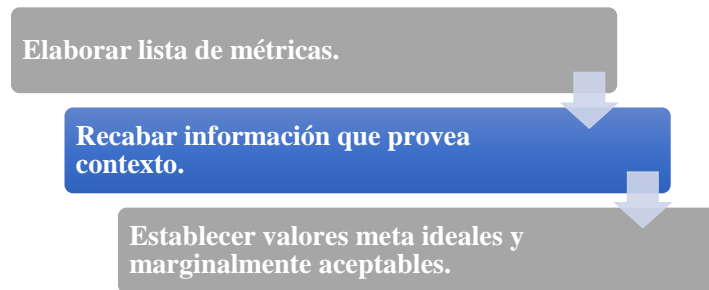


Figura 6.8. Etapa 2 de las especificaciones del producto. Fuente: Elaboración propia.

Es importante recabar información que permita establecer valores objetivo razonables para las métricas, por lo tanto, el proceso de extracción de información se realizará de diferentes fuentes, las cuales se explican a continuación:

Entrevista al cliente

Se toma como primera fuente de referencia, debido a la naturaleza del diseño ad hoc, ya que el presente proyecto no está destinado a la fabricación masiva. A partir de la entrevista, es posible encontrar las necesidades explícitas de lo que se requiere y en algunas ocasiones, los valores objetivo. [23]

Importancia de las necesidades

Es de utilidad comprender que tan importante considera el cliente que es una necesidad y, por tanto, que tan estrictamente debe de cumplirse la métrica relacionada a esta.

La identificación de la relevancia facilita la determinación de los valores objetivos.

Parámetros de máquinas del mercado

Aunque el proyecto no represente una componente comercial, puesto que no se hará fabricación masiva, es importante considerar los parámetros de las máquinas llenadoras que hay en el mercado, para saber lo que se ofrece en el comercio y tenerlo como punto de referencia.

Puesto que la información de llenadoras que hay disponible es muy general, no es posible recopilar datos de todas las métricas propuestas en la Tabla 6.5, es por esto por lo que, la

información comercial recopilada de la Figura 6.7, solamente muestra aquellas métricas en las que fue posible acceder a la información de interés.

En el caso de la métrica Velocidad de dosificado, la misma es común cuantificarla por la cantidad de botellas llenadas por minuto (bpm), sin embargo, al realizar la investigación fue posible observar que las máquinas utilizan botellas de diferente volumen al momento de establecer este parámetro, por lo que no se considera adecuado elegir esta unidad de medida para realizar la comparación entre máquinas, y se decide hacer la conversión a mililitros por segundo (ml/s) y de este modo lograr una comparación adecuada.

Tabla 6.7. Parámetros de máquinas llenadoras del mercado basada en métricas.

Métrica núm.	Núm. de necesidad	Métrica	Imp.	Unidad	Dosificador (VIREL) [27]	Llenadora AVF (Rinou) [28]	Llenadora RNY2T (Rinou) [29]	Llenadora (Novamart Solution) [30]	Llenadora (CW Maquinaria) [31]	Llenadora (Cetro) [32]
1	1	Precisión de dosificado.	5	%	4	$\leq \pm 1$	$\leq \pm 1$	± 1	± 1	-
2	2	Velocidad de dosificado.	5	ml/s	25	66	17	63	125	500
4	4, 5, 14	Volumen de producto llenado con dosificado manual.	5	ml	30-500 10-150	0	0	50-500	50-1000	100-1000
5	4, 5, 15	Volumen de producto llenado con dosificado automático.	5	ml	30-500 10-150	20-500	100-250 200-500	50-500	-	100-1000
8	9	Porcentaje de producto ingresado desde el contenedor.	5	%	100	100	100	0	0	0
9	10, 11, 12	Tiempo de realización del mantenimiento.	5	min	-	-	-	-	-	15 min
14	16	Tiempo que tarda el llenado automático pausado.	4!	s	0	-	-	0	-	-
15	17	Tiempo que tarda el llenado automático en des pausarse.	4!	s	0	-	-	0	-	-
16	18	Porcentaje de empaques colocados manualmente en el área de llenado.	5	%	100	0	0	100	100	100
18	20	Costo de manufactura.	5	CRC	1,515,238	-	-	1,648,400	1,517,005	918,203

Fuente: [27], [28], [29], [30], [31], [32]

6.3 Establecer valores meta ideales y marginalmente aceptables.

Como se muestra en la Figura 6.9, esta es la última etapa de las especificaciones del producto.

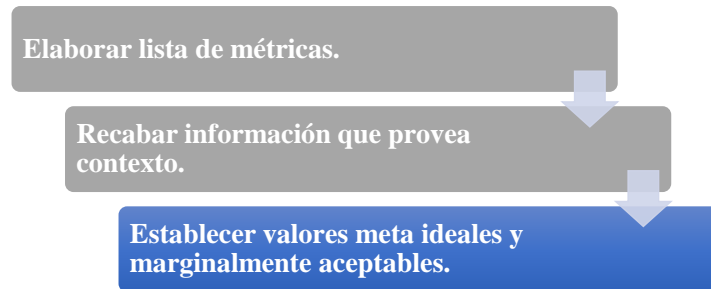


Figura 6.9. Etapa 3 de las especificaciones del producto. Fuente: Elaboración propia.

La definición de los valores objetivo se hace con base en la información recopilada anteriormente. Como se observa en la Tabla 6.8, los valores objetivo se establecen como una condición binaria, subjetiva o bien, mediante rangos de aceptación.

Tabla 6.8. Lista de métricas para el sistema de llenado. La importancia relativa de cada métrica y las unidades de la métrica también se muestran. “Subj.” es una abreviatura que indica que la métrica es subjetiva.

Métrica núm.	Métrica	Imp.	Unidades	Valor marginal	Valor ideal
1	Precisión de dosificado.	5	%	2 - 5	0 - 2
2	Velocidad de dosificado.	5	ml/s	> 10	> 30
3	Tiempo en detener llenado cuando se acaba el producto.	5	s	< 0.5	< 0.1
4	Volumen de producto llenado con dosificado manual.	5	ml	160 - 350	100 - 400
5	Volumen de producto llenado con dosificado automático.	5	ml	160 - 350	100 - 400
6	Grado de dificultad para manejar el sistema.	5	Subj.	--	--
7	Tiempo de espera entre cada llenado, durante el llenado automático.	5	s	3 - 4	3 - 3.5
8	Porcentaje de producto ingresado desde el contenedor.	5	%	100	100
9	Tiempo de realización del mantenimiento.	5	min	< 30	< 15
10	Número de personas necesarias para la realización del mantenimiento.	5	--	< 3	< 2
11	Número de personas necesarias para ensamblaje.	5	--	< 3	< 2
12	Número de personas necesarias para des ensamblaje.	5	--	< 3	< 2
13	Distancia entre accionadores manuales y el área de llenado.	4	cm	< 30	< 10
14	Tiempo que tarda el llenado automático pausado.	4!	s	≥ 0	≥ 0
15	Tiempo que tarda el llenado automático en des pausarse.	4!	s	< 1	< 0.5
16	Porcentaje de empaques colocados manualmente en el área de llenado.	5	%	100	100
17	Cumple con la norma INTE A1:2020.	5	Binaria	Si	Si
18	Costo de manufactura.	5	CRC	< 500,000	< 300,000

Fuente: Elaboración propia.

Capítulo 7. Diseño a nivel de sistema

Una vez completadas las primeras dos fases de la Metodología, se procede a desarrollar el Diseño a nivel de sistema, el cual comprende la Generación de conceptos, así como la Selección y Evaluación de estos.

7.1 Generación de conceptos

Como se muestra en la Figura 7.1, la generación de conceptos corresponde a la primera fase del Diseño a nivel de sistema.

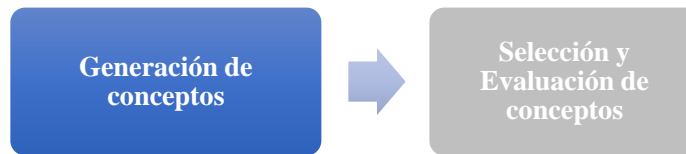


Figura 7.1. Fase Generación de conceptos. Fuente: Elaboración propia.

7.1.1 Descomposición funcional del problema

Como se muestra en la Figura 7.2, el primer paso para la generación de conceptos es la descomposición del problema en funciones o subproblemas, esto con el objetivo de facilitar el manejo y desarrollo del problema. [23]

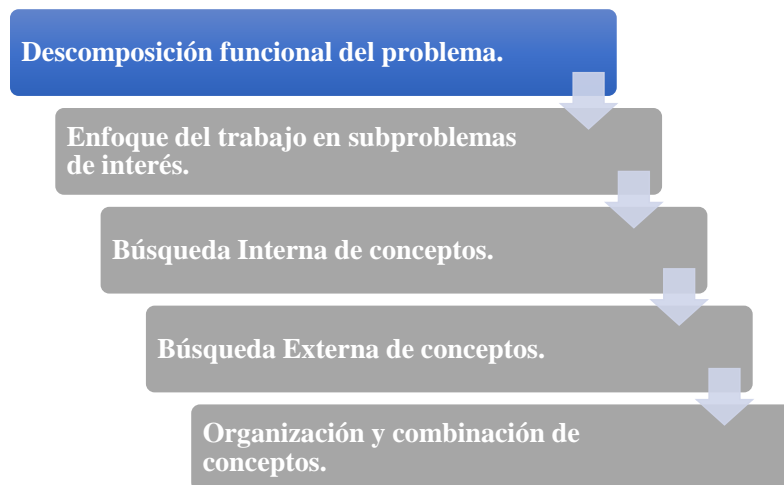


Figura 7.2. Etapa 1 de la Generación de conceptos. Fuente: Elaboración propia.

Primeramente, se colocan las entradas y salidas del sistema, las cuales ya se conocen puesto que la máquina existe. Como se indicó anteriormente, se mantendrá la alimentación neumática del sistema, la cual podrá presentar modificaciones en sus componentes (si se considera necesario una

vez que se determinen los requerimientos neumáticos durante la etapa de diseño). Las entradas y salidas del sistema se muestran en la Figura 7.3.

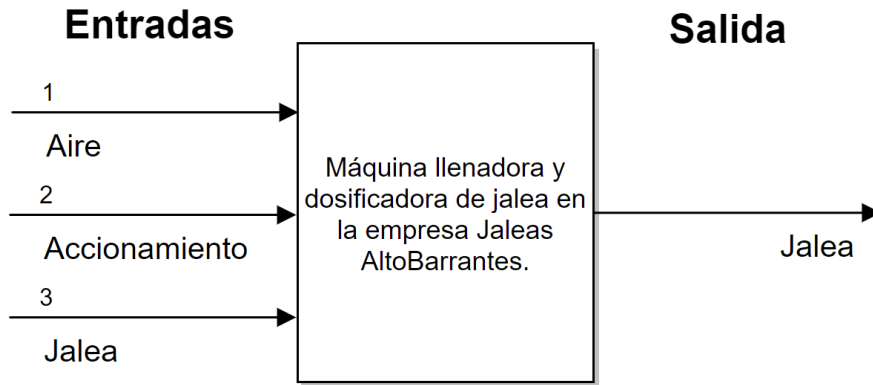


Figura 7.3. Diagrama funcional de un sistema de llenado que surge de una descomposición funcional general. Fuente: Elaboración propia.

Seguidamente, se procede a realizar la descomposición del problema en subproblemas, los cuales corresponden a funciones del sistema existente, esta descomposición se muestra en la Figura 7.4. Las funciones definidas deberán comportarse de manera independiente entre sí, lo cual hará posible el estudio y desarrollo de distintas soluciones que luego podrán unirse y formar la propuesta del sistema final.

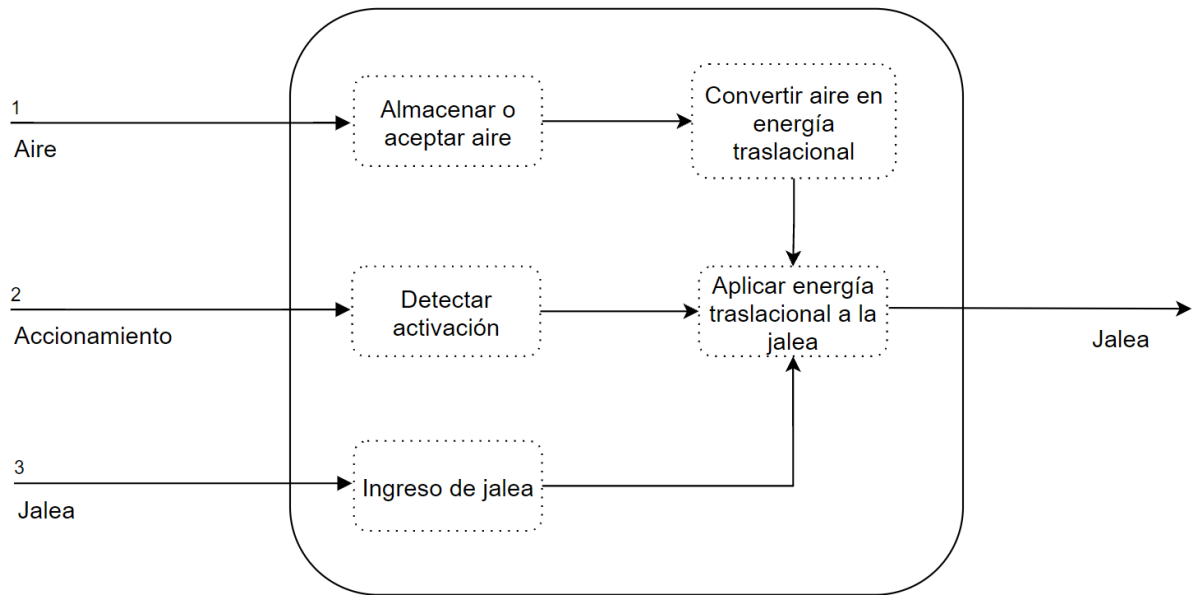


Figura 7.4. Primera descomposición funcional del sistema de llenado. Fuente: Elaboración propia.

Después de realizada la primera descomposición funcional del problema, se procede a realizar la búsqueda interna de conceptos y durante esta sección fue posible determinar la necesidad de agregar la subfunción “Dosificado de jalea”, con este cambio se obtiene la segunda y última descomposición funcional mostrada en la Figura 7.5.

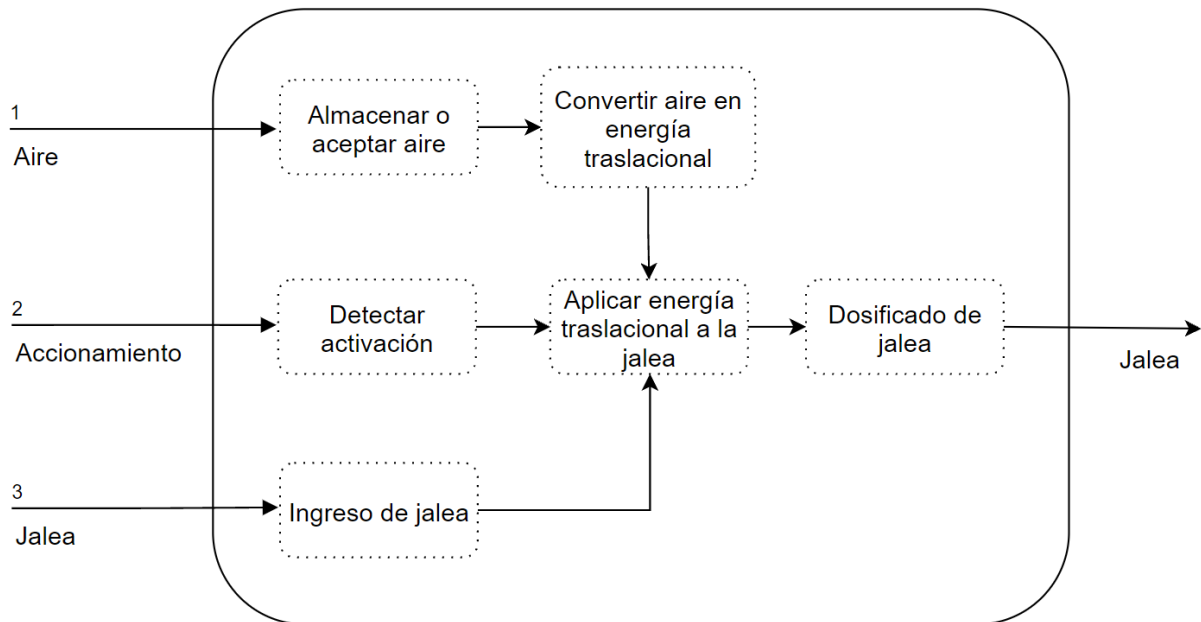


Figura 7.5. Segunda descomposición funcional del sistema de llenado. Fuente: Elaboración propia.

A continuación, se describen las funciones mostradas en la Figura 7.5.

- Almacenar o aceptar aire: Este subproblema hace referencia a la entrada de aire a la máquina, puesto que la misma funciona con un sistema neumático.
- Convertir aire en energía traslacional: Para esta función, la máquina utiliza un pistón neumático, encargado de mover la jalea.
- Detectar activación: Este subproblema se refiere a la capacidad de la máquina para detectar la activación que le indica el momento para iniciar el llenado.
- Aplicar energía traslacional a la jalea: Aquí es donde se activa el pistón, una vez que se ha detectado la activación.
- Dosificado de jalea: Aquí se realiza el dosificado de la jalea.
- Aceptar jalea: Esta función hace referencia al ingreso de la jalea a la máquina.

7.1.2 Enfoque del trabajo en subproblemas de interés

Como se muestra en la Figura 7.6, esta sección corresponde a la segunda fase de la generación de conceptos.

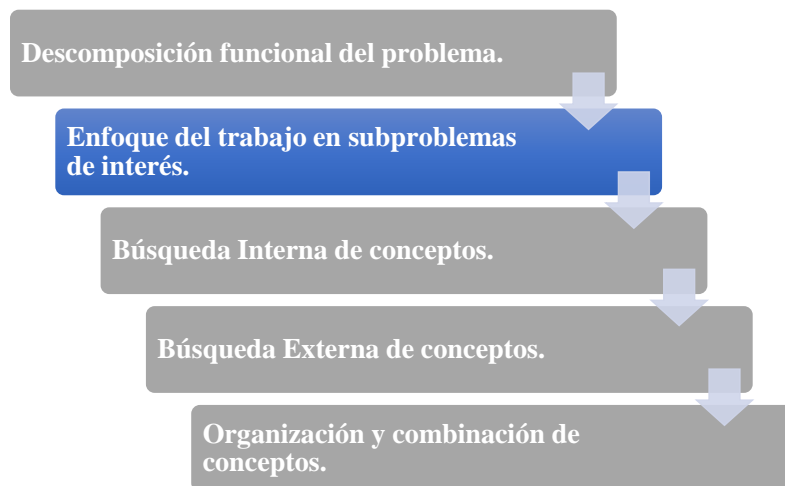


Figura 7.6. Etapa 2 de la Generación de conceptos. Fuente: Elaboración propia.

Para este apartado es importante recordar que el problema planteado para el proyecto corresponde a: “las bolsas llenadas con la actual máquina llenadora no cumplen con la fecha de caducidad ni con el peso requerido”.

Puesto que las causas del problema corresponden a: Diseño del ingreso del producto, Conductos de abastecimiento de jalea sucios, Sistema neumático inadecuado e Ineficiente sujeción del final de carrera, el área de interés del proyecto es dar solución al problema planteado, atacando las causas de este, es por esto que la generación y selección de conceptos se enfocará solamente en aquellas subfunciones de la Figura 7.5 que se relacionen a las causas del problema. En la Tabla 7.1 se muestra las causas del problema y las subfunciones relacionadas a ellas.

Tabla 7.1. Subfunciones del sistema de llenado relacionadas con las causas del problema.

Causas del problema detectadas	Subfunciones del sistema de llenado
Diseño del ingreso del producto.	Ingreso de jalea.
Conductos de abastecimiento de jalea sucios.	Ingreso de jalea.
Sistema neumático inadecuado.	Almacenar o aceptar aire. Convertir aire en energía traslacional.
Ineficiente sujeción del final de carrera.	Dosificado de jalea.

Fuente: Elaboración propia.

Si bien es cierto que al modificar la subfunción de “Ingreso de jalea”, es necesario estudiar el sistema neumático y sus componentes para verificar si es requerida la realización de alguna modificación en caso de que los mismos no cumplan con los requerimientos del nuevo diseño de alimentación de jalea, esto implicaría la sustitución de los componentes por otros con distintas especificaciones, mas no el cambio del sistema neumático por otro sistema como el hidráulico, por ejemplo.

Esto porque el sistema neumático en máquinas llenadoras es el más utilizado y recomendado en la industria por las ventajas que aporta como seguridades antiderrames, según [33], “el aire comprimido es una fuente de energía segura y fiable muy utilizada en el sector de la alimentación, aproximadamente el 90% de todas las empresas utilizan aire comprimido, en alguna parte de sus operaciones”.

Por todo lo anterior, no se considera necesario el desarrollo de conceptos para las subfunciones Almacenar o aceptar aire y Convertir aire en energía traslacional. El análisis de la necesidad de cambiar o no los componentes del sistema neumático se realizará en la sección denominada Diseño del sistema neumático.

7.1.3 Búsqueda Interna de conceptos

Una vez definidos los subproblemas de interés, continuamos con la búsqueda interna como se muestra en la Figura 7.7.

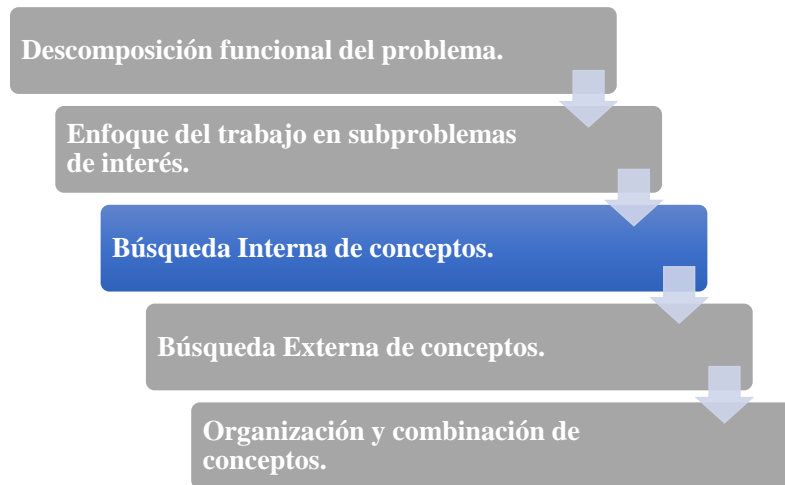


Figura 7.7. Etapa 3 de la Generación de conceptos. Fuente: Elaboración propia.

Para la búsqueda interna de conceptos, se procede a realizar una sesión de “tormenta de ideas”, en la cual se documentan las ideas que surgen en función de los subproblemas de interés. En esta etapa se intenta dar todas las ideas que se posean en el momento, sin descartar ninguna potencial solución a los subproblemas.

Durante la tormenta de ideas se obtienen los insumos presentados en la Tabla 7.2.

Tabla 7.2. Insumos obtenidos de la Tormenta de ideas.

Ingreso de jalea	Dosificado de jalea
Conductos de acero inoxidable	Sensor magnético (pistón)
Tolva	Báscula digital
Conductos de acero inoxidable unido a un conducto flexible corto en el extremo	Sujeción para el actual final de carrera

Fuente: Elaboración propia.

7.1.4 Búsqueda Externa de conceptos

Después de la búsqueda interna, continuamos con la búsqueda externa como se muestra en la Figura 7.8.

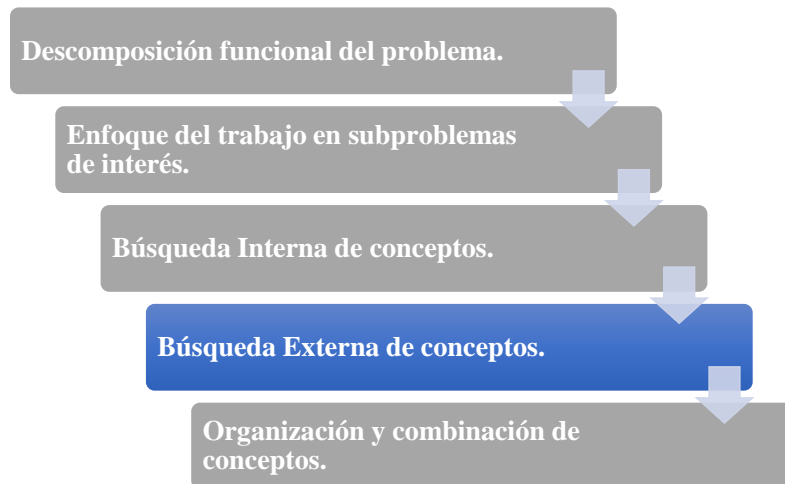


Figura 7.8. Etapa 4 de la Generación de conceptos. Fuente: Elaboración propia.

La búsqueda externa se lleva a cabo mediante la consulta de información proveniente de los productos de mercado y de literatura. En esta etapa se trata de consultar todas aquellas fuentes en donde se propongan métodos de llenado de productos viscosos en general para máquinas llenadoras. La información recolectada de la búsqueda se muestra en la Tabla 7.3.

Tabla 7.3. Insumos obtenidos de la búsqueda externa.

Ingreso de jalea	Dosificado de jalea
Tolva.	Sensor magnético (pistón)
Conductos flexibles.	Final de carrera
Tanque.	Temporizador
Conductos de acero inoxidable.	

Fuente: Elaboración propia.

7.1.5 Organización y combinación de conceptos.

Como se aprecia en la Figura 7.9, pasamos a la etapa 5 de la etapa de Generación de conceptos.

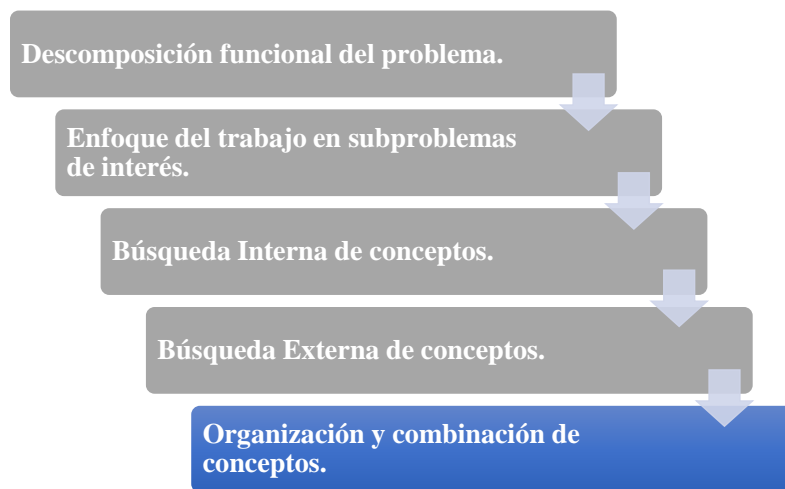


Figura 7.9. Etapa 5 de la Generación de conceptos. Fuente: Elaboración propia.

Una vez realizado el proceso de recopilación de información interna y externa, es requerido analizar todos los conceptos obtenidos con el fin de dar origen a posibles candidatos de solución para cada subfunción. [23]

Primeramente, se somete toda la información obtenida a un proceso de organización, esto se realiza mediante árboles de clasificación. [23]

7.1.5.1 Árboles de clasificación

Al representar la información mediante el uso de árboles, es posible clasificar los conceptos generados en la búsqueda interna y externa gráficamente, de modo que sea más sencillo identificar conceptos que puedan trabajarse en paralelo, así como otros que no merezcan la pena seguir explorando. [23] [25]

En la Figura 7.10, se muestran las propuestas de solución para la subfunción “Ingreso de jalea”, se decide eliminar la Tolva ya que realizar un diseño con esta implicaría que se deban levantar los contenedores, donde la empresa almacena el producto, a una altura superior a 1.38 m (altura que posee la máquina actual), los cuales, estando llenos de producto, llegan a pesar 28 kg, siendo este levantamiento indeseable y poco práctico.

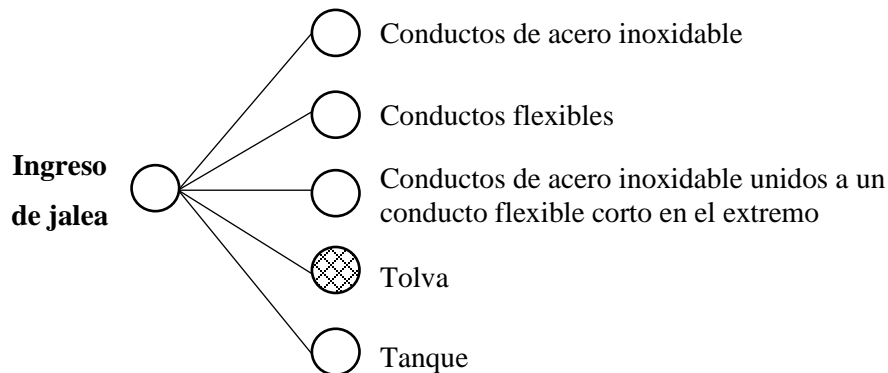


Figura 7.10. Árbol de clasificación para la subfunción "Ingreso de jalea". Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 7.11 se muestran las propuestas de solución para la subfunción “Dosificado de jalea”, se decide eliminar la Báscula digital ya que el sistema de dosificado es volumétrico y esta característica puede ser aprovechada para el dosificado, mediante la utilización de componentes que permitan controlar la cantidad de volumen depositado, de modo que se vuelve innecesario agregar la báscula como método principal de dosificado. La báscula corresponde a un componente de suma importancia en el dosificado de productos sólidos, lo cual no es el caso del presente proyecto.

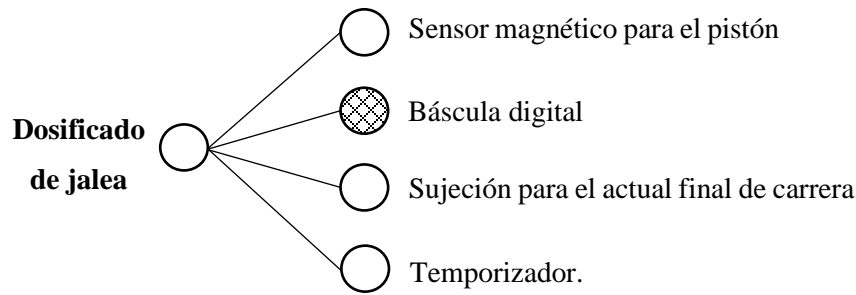


Figura 7.11. Árbol de clasificación para la subfunción "Dosificado de jalea". Fuente: Elaboración propia.

Una vez que se han realizado los árboles de clasificación, el paso siguiente de la metodología de diseño son las tablas de combinación. Con estas tablas se realiza combinaciones de soluciones que sean dependientes entre sí o bien que se relacionen de algún modo. En el caso de las dos subfunciones de los árboles de clasificación anteriores, estas son totalmente independientes, es decir, la propuesta de solución que se elija para una subfunción no afecta a la otra, es por esta razón, que en el caso específico de este proyecto, no será necesaria la creación de dichas tablas.

7.1.5.2 Conceptos para subfunciones propuestas

Con el fin de entender de mejor manera las propuestas de solución para la subfunción “Ingreso de jalea”, se realiza una representación gráfica de las mismas, las cuales se muestran en la Figura 7.12, Figura 7.13, Figura 7.14 y Figura 7.15. Es importante aclarar que para evitar que el producto salga de los conductos una vez llenos, es indispensable rellenar el contenedor de almacenamiento de jalea antes de que este se encuentre vacío, es decir, no será necesario el intercambio de un contenedor vacío por otro lleno, sino, rellenar el que está alimentando la máquina, con otro lleno.

En la Figura 7.12 se muestra un boceto del diseño de ingreso de jalea al emplear conductos de acero inoxidable. Con este diseño se puede utilizar la misma estructura para apoyarse sobre el contenedor.

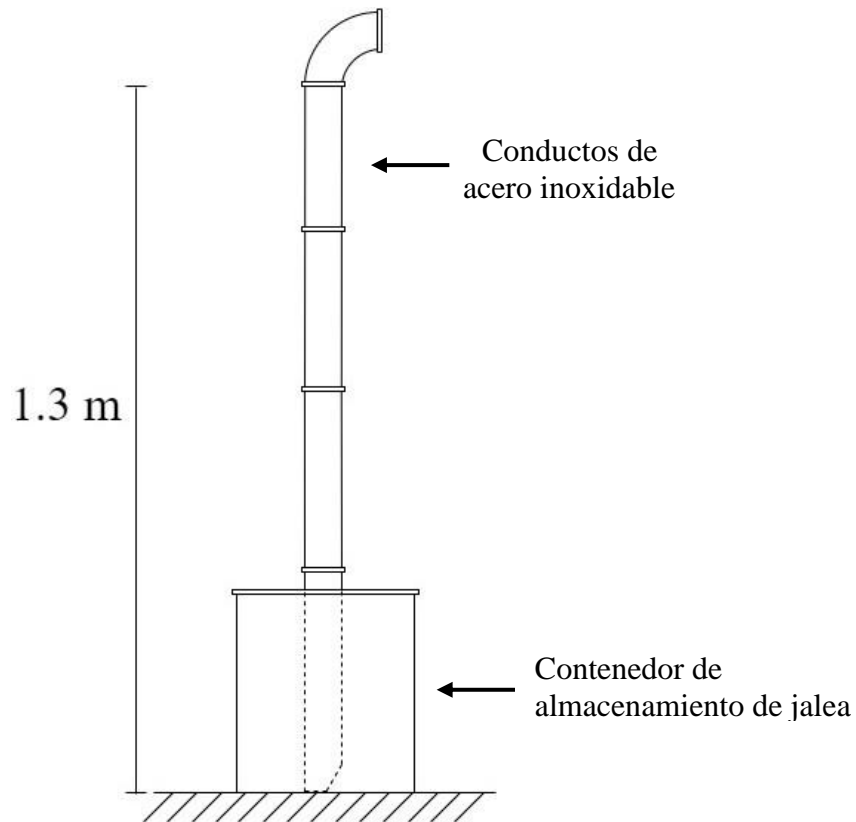


Figura 7.12. Concepto A. Ingreso de jalea con conductos de acero inoxidable. Fuente: Elaboración propia.

En el concepto de la Figura 7.13, se usa en gran parte conductos flexibles pero debido a que los mismos poseen un límite de flexibilidad y no permiten formar ángulos de noventa grados, es necesario el uso de un codo y un adaptador de acero inoxidable para la sujeción de ambos.

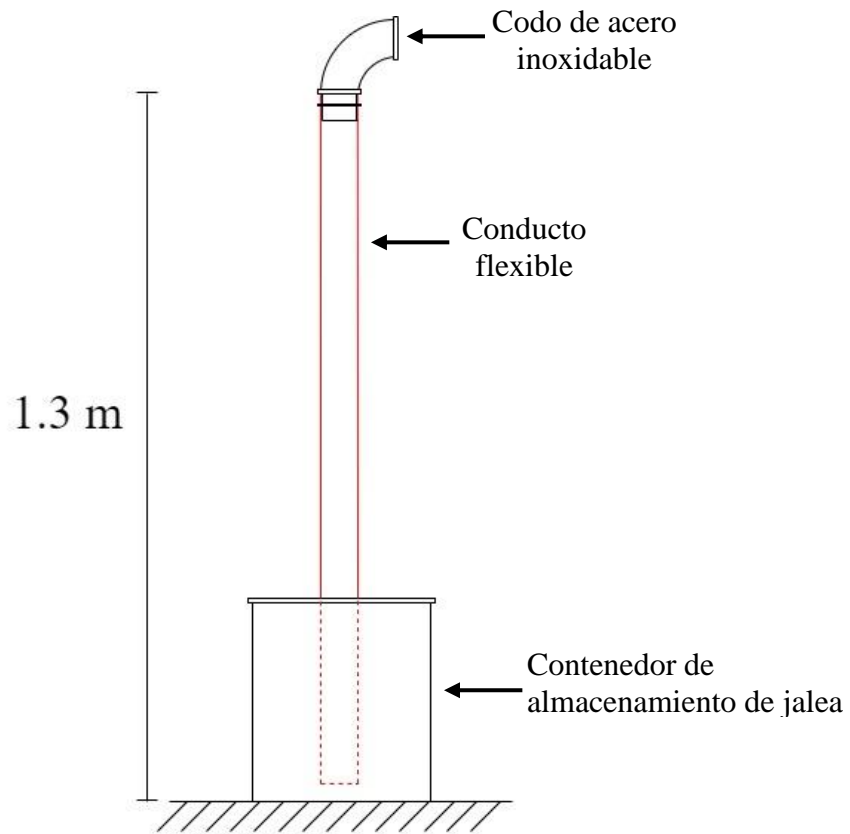


Figura 7.13. Concepto B. Ingreso de jalea con conductos flexibles. Fuente: Elaboración propia.

En el caso de utilizar una combinación de conductos de acero inoxidable y conductos flexibles, el concepto se muestra en la Figura 7.14.

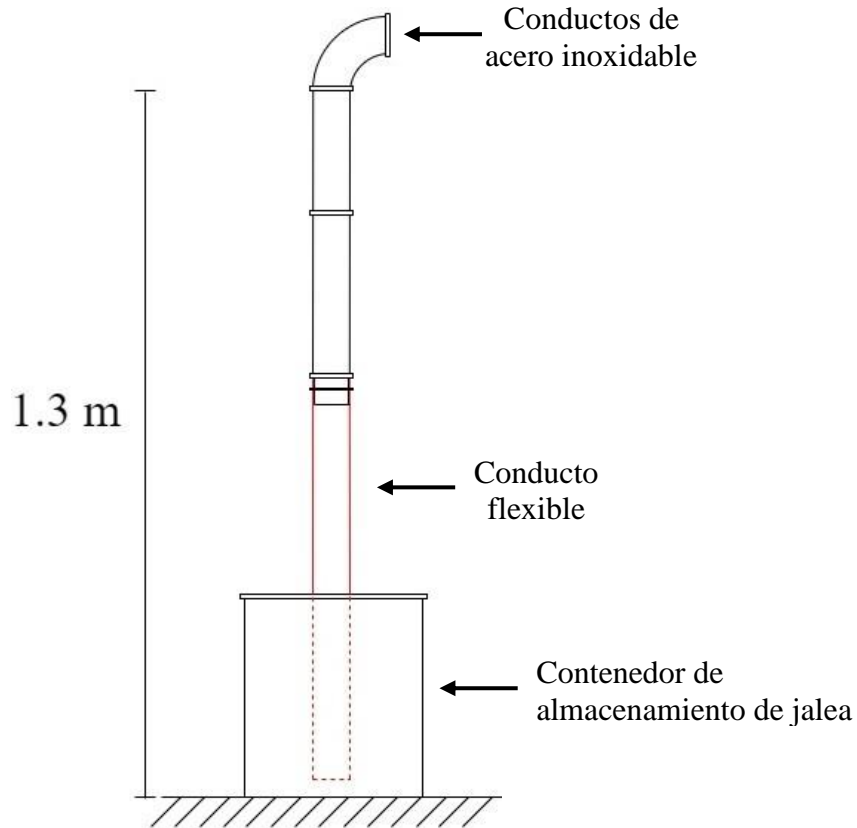


Figura 7.14. Concepto C. Ingreso de jalea con conductos de acero inoxidable unidos a un conducto flexible en el extremo.

En el caso del concepto D, mostrado en la Figura 7.15, se hace uso de un tanque de acero inoxidable a nivel del suelo y tubería del mismo material.

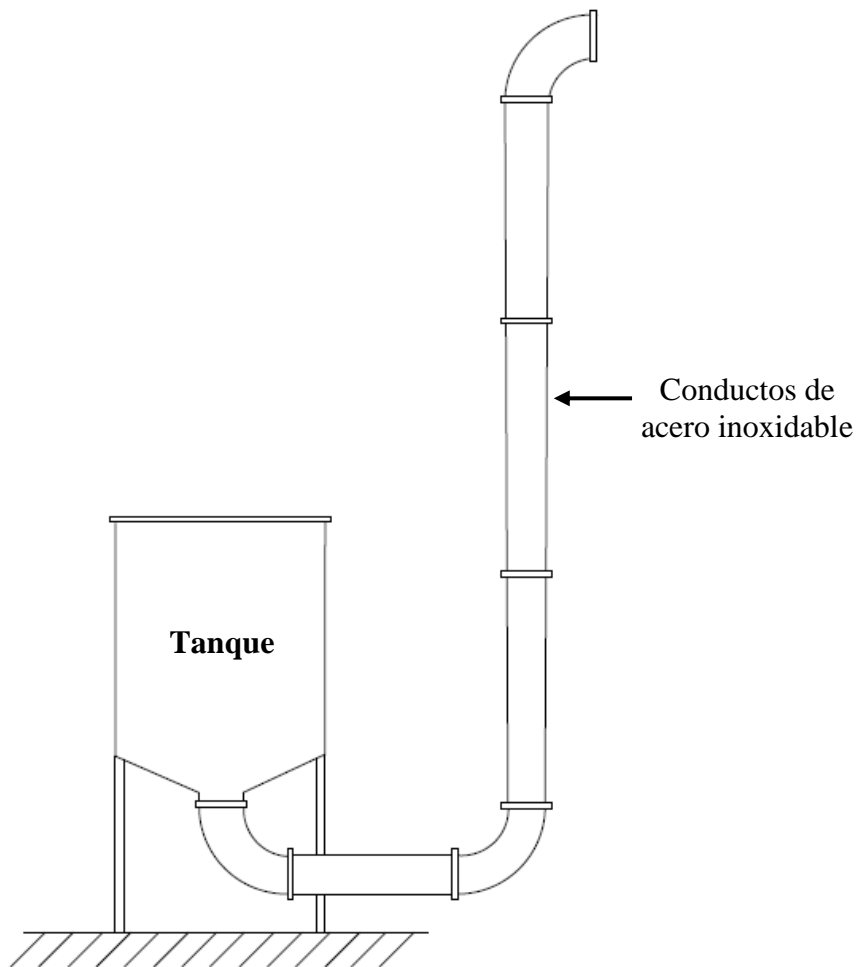


Figura 7.15. Concepto D. Ingreso de jalea mediante tanque. Fuente: Elaboración propia.

Por otro lado, en el caso de la subfunción "Dosificado de jalea", se cuenta con tres conceptos:

- Concepto H: Sensor magnético para el pistón.
- Concepto I: Sujeción para el actual final de carrera.
- Concepto J: Temporizador.

7.2 Selección y Evaluación de Conceptos

Como se muestra en la Figura 7.16, la selección y evaluación de conceptos corresponde a la última fase del capítulo.

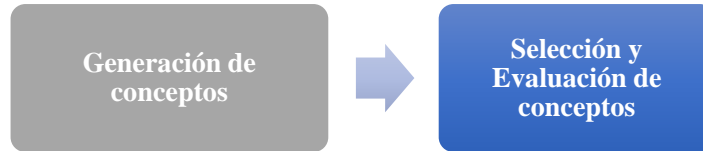


Figura 7.16. Fase Selección y evaluación de conceptos. Fuente: Elaboración propia.

7.2.1 Etapa de Filtrado

Esta corresponde a la primera mitad de la Selección y Evaluación de conceptos, como se muestra en la Figura 7.17.

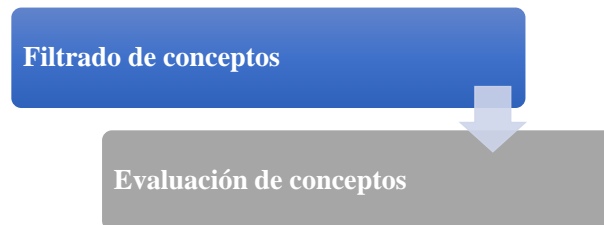


Figura 7.17. Etapa 1 de la Selección y Evaluación de conceptos. Fuente: Elaboración propia.

Para llevar a cabo esta, se determinan los criterios con base en los cuales se filtrarán los conceptos. Puesto que se evaluarán conceptos de subsistemas, para la determinación de los criterios se deberán utilizar solamente aquellas necesidades que a ellos se refieran. [26]

Los criterios por utilizar para la subfunción Ingreso de jalea se muestran en la Tabla 7.4 mientras que los de la subfunción Dosificado de jalea se presentan en la Tabla 7.5.

Tabla 7.4. Definición de criterios para evaluar la subfunción Ingreso de jalea.

Necesidad		Criterios
El sistema	es utilizado por cualquier miembro del personal.	Facilidad de uso.
El sistema	de ingreso de jalea se hace desde el contenedor.	Ingreso desde contenedor.
El sistema	es de fácil mantenimiento.	Facilidad de mantenimiento.
El sistema	es fácil de ensamblar.	Facilidad de ensamble.
El sistema	es fácil de desensamblar.	Facilidad de desensamble.
El sistema	cumple con estándares sanitarios.	Facilidad de limpieza.
		Material de grado alimenticio.
El sistema	es de bajo costo.	Bajo costo.

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 7.5. Definición de criterios para evaluar la subfunción Dosificado de jalea.

Necesidad		Criterios
El sistema	de dosificado es preciso.	Preciso.
El sistema	es utilizado por cualquier miembro del personal.	Facilidad de manipulación.
El sistema	es de uso intuitivo.	Intuitivo.
El sistema	es de bajo costo.	Bajo costo.

Fuente: Elaboración propia.

Una vez definidos los criterios para cada subfunción, es conveniente mostrar gráficamente todos los conceptos que serán sometidos a la etapa de filtrado a modo resumen. Los conceptos de las subfunciones se presentan en la Figura 7.18 y Figura 7.19.

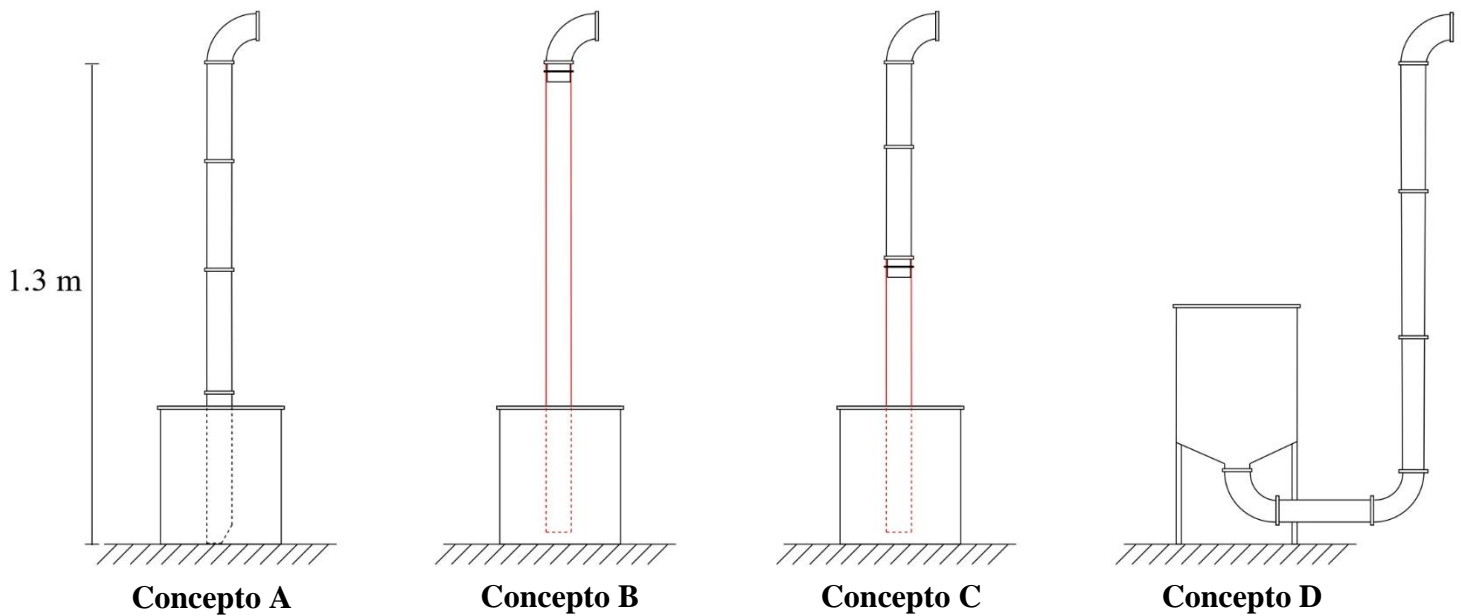


Figura 7.18. Conceptos generados para la subfunción Ingreso de jalea. Fuente: Elaboración propia.

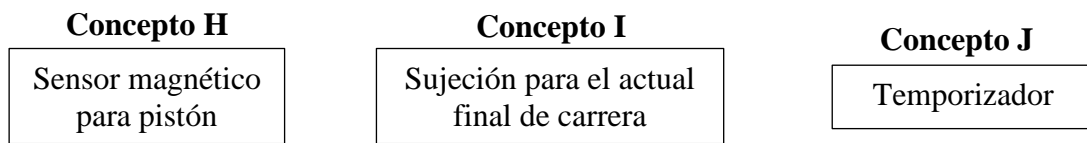


Figura 7.19. Conceptos generados para la subfunción Dosificado de jalea. Fuente: Elaboración propia.

7.2.1.1 Matriz de selección y evaluación de conceptos

La matriz se construye colocando los conceptos en las columnas y en las filas se colocan los criterios a evaluar. Para ello se define un concepto como la referencia, el cual usualmente es un concepto existente y suficientemente conocido, [26] y los demás conceptos se evalúan con base en el concepto de referencia de la siguiente manera:

- Igual que la referencia: se coloca un cero (0).
- Mejor que la referencia: se coloca un signo de suma (+).

- Peor que la referencia: se coloca un signo de resta (-).

El resultado de esta evaluación permite establecer cuatro posibles resultados para cada concepto, los cuales se describen a continuación:

- Pasa: el concepto que resulta en una mayor puntuación y los conceptos que posean una muy cercana la suya.
- Mejora: son aquellos conceptos que poseen una alta puntuación en general pero que necesitan mejorar en criterios en los que se percibe que poseen un desempeño especialmente negativo.
- Combina: aquellos que presentan al menos un criterio que les hace destacar en comparación a los otros.
- Elimina: son aquellos que no presentan ninguna característica interesante.

Para el filtrado de conceptos de la subfunción ingreso de jalea, se utiliza la matriz de la Tabla 7.6.

Tabla 7.6. Etapa Filtrado: Matriz de selección y evaluación de conceptos para la subfunción Ingreso de jalea.

Criterios de selección	Conceptos			
	A Conductos sólidos	B Conductos flexibles (Referencia)	C Combinación Solidos y flexible	D Tanque
Facilidad de uso.	0	0	0	-
Ingreso desde contenedor.	0	0	0	-
Facilidad de mantenimiento.	+	0	+	+
Facilidad de ensamble.	-	0	-	-
Facilidad de desensamble.	-	0	-	-
Facilidad de limpieza.	+	0	+	+
Material de grado alimenticio.	0	0	0	0
Bajo costo.	-	0	-	-
Suma +	2	0	2	2
Suma 0	3	8	3	1
Suma -	3	0	3	5
Evaluación neta	-1	1	-1	-3
Lugar				
¿Continuar?	Pasa	Pasa	Pasa	Elimina

Fuente: Elaboración propia.

Para este caso, ya los conceptos se encontraban combinados en el concepto C, por lo tanto, solo se eligen las opciones de Pasa o Elimina, que se consideran como las más adecuadas.

Para el filtrado de conceptos de la subfunción dosificado de jalea, se utiliza la matriz de la Tabla 7.7.

Tabla 7.7. Etapa Filtrado: Matriz de selección y evaluación de conceptos para la subfunción Dosificado de jalea.

Criterios de selección	Conceptos		
	H Sensor magnético (Referencia)	I Sujeción para actual final de carrera	J Temporizador
Preciso.	0	0	0
Facilidad de manipulación.	0	0	-
Intuitivo.	0	+	+
Bajo costo.	0	+	+
Suma +	0	2	2
Suma 0	4	2	1
Suma -	0	0	1
Evaluación neta	0	2	1
Lugar	3	1	2
¿Continuar?	Elimina	Pasa	Pasa

Fuente: Elaboración propia.

7.2.2 Etapa de Evaluación

Esta corresponde a la segunda mitad de la Selección y Evaluación de conceptos, como se muestra en la Figura 7.20.

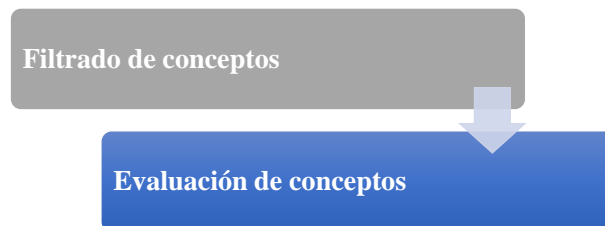


Figura 7.20. Etapa 2 de la Selección y Evaluación de conceptos. Fuente: Elaboración propia.

En esta etapa se realiza la selección del concepto ganador y se documenta el proceso en caso de ser necesaria una revisión. [26]

Se utilizan de igual forma una matriz con los mismos criterios de la Etapa de Filtrado para evaluar todos los conceptos que no se hayan eliminado, pero esta vez realizando un proceso más

preciso, que asigne puntuaciones de acuerdo con la importancia de la necesidad relacionada a cada criterio. [26]

7.2.2.1 Matriz de selección y evaluación de conceptos

Esta matriz es muy similar a la anterior con la diferencia que se agrega una columna de factores de ponderación para cada criterio, construida fundamentalmente con la importancia de las necesidades previamente establecidas. Otra diferencia es que no existe un único concepto referencia, sino que es válido que para cada criterio se elija un concepto diferente. [26]

Para la calificación se utiliza la siguiente escala:

- **3** es la referencia.
- **2** es “ligeramente menor” que la referencia.
- **1** es “notablemente menor” que la referencia.
- **4** es “ligeramente superior” a la referencia.
- **5** es “notablemente superior” a la referencia.

Para la evaluación de conceptos de la subfunción ingreso de jalea, se utiliza la matriz de la Figura 7.8 y para evaluar la subfunción dosificado de jalea, se utiliza la matriz de la Tabla 7.9.

Tabla 7.8. Etapa Evaluación: Matriz de selección y evaluación de conceptos para la subfunción Ingreso de jalea.

		Conceptos					
		A Conductos sólidos		B Conductos flexibles (Referencia)		C Combinación sólidos y flexible	
Criterios de selección	Peso	Calificación	Evaluación ponderada	Calificación	Evaluación ponderada	Calificación	Evaluación ponderada
Facilidad de uso.	12.5%	3	0.375	3	0.375	3	0.375
Ingreso desde contenedor.	12.5%	3	0.375	3	0.375	3	0.375
Facilidad de mantenimiento.	12.5%	5	0.625	3	0.375	5	0.625
Facilidad de ensamble.	12.5%	1	0.125	3	0.375	2	0.25
Facilidad de desensamble.	12.5%	1	0.125	3	0.375	2	0.25
Facilidad de limpieza.	12.5%	5	0.625	3	0.375	5	0.625
Material de grado alimenticio.	12.5%	3	0.375	3	0.375	3	0.375
Bajo costo.	12.5%	2	0.25	4	0.5	3	0.375
	Total puntos		2.875		3.125		3.25
	Lugar		3		2		1
¿Continuar?		No		No		Desarrollar	

Fuente: Elaboración propia

Tabla 7.9. Etapa Evaluación: Matriz de selección y evaluación de conceptos para la subfunción Dosificado de jalea.

		Conceptos			
		Concepto I		Concepto J	
		Sujeción para actual final de carrera (Referencia)		Temporizador	
Criterios de selección	Peso	Calificación	Evaluación ponderada	Calificación	Evaluación ponderada
Preciso.	25%	3	0.75	2	0.5
Facilidad de manipulación.	25%	3	0.75	1	0.25
Intuitivo.	25%	3	0.75	2	0.5
Bajo costo.	25%	3	0.75	3	0.75
	Total puntos		3		2
	Lugar		1		2
¿Continuar?		Desarrollar		No	

Fuente: Elaboración propia.

Por lo tanto, es posible concluir que la solución seleccionada para las subfunciones son las siguientes:

- Ingreso de jalea: Combinación de conductos sólidos y flexible
- Dosificado de jalea: Sujeción para actual final de carrera.

Capítulo 8. Diseño a detalle

Para la propuesta de diseño se procede a realizar el diseño mecánico y posterior a esto, el control del sistema, como se muestra en la Figura 8.1.

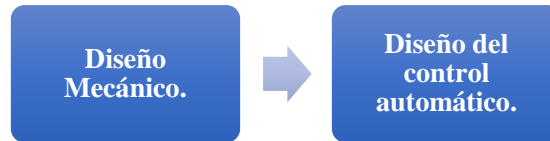


Figura 8.1. Etapas de la Propuesta de Diseño. Fuente: Elaboración propia.

8.1 Diseño Mecánico

Como se muestra en la Figura 8.2, el diseño mecánico se realiza antes del diseño del control ya que es necesario definir los componentes del sistema (ya sea mantener los actuales o agregar nuevos) para luego realizar el control automático de los mismos. Para el mismo se toma como referencia la metodología desarrollada en [34].

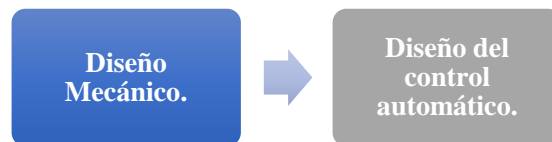


Figura 8.2. Diseño Mecánico de la Propuesta de Diseño. Fuente: Elaboración propia.

Para el Diseño Mecánico, se contemplan aquellas mejoras a realizar en el diseño del ingreso del producto, los requerimientos de estos cambios en el sistema neumático, validación del émbolo, etc. Este proceso se muestra en la Figura 8.3.

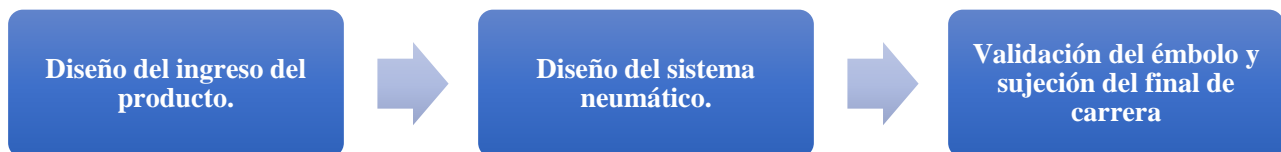


Figura 8.3. Etapas del Diseño Mecánico. Fuente: Elaboración propia.

8.1.1 Diseño del ingreso del producto

Como se muestra en la Figura 8.4, el Diseño del ingreso del producto corresponde a la primer etapa del Diseño Mecánico.

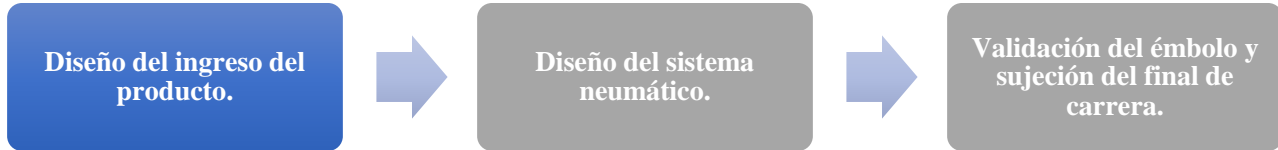


Figura 8.4. Etapa Diseño del ingreso del producto del Diseño Mecánico. Fuente: Elaboración propia.

A la empresa Jaleas AltoBarrantes, le interesa que la máquina dosifique de manera precisa, bolsas con 500 g y 250 g, las cuales corresponden a 333.33 ml y 166.67 ml respectivamente, redondeando estos volúmenes de modo que las bolsas cumplan mínimamente con la cantidad de gramos especificados en la etiqueta, se referirá a ellas a partir de este momento como 334 ml y 167 ml.

Para el diseño del ingreso del producto se desarrollarán los siguientes pasos:

- Determinación de capacidad de producción actual.
- Determinación de carrera mínima para el pistón.
- Determinación de precisión de llenado.
- Velocidad y tiempo de producción esperados.
- Presión requerida para el llenado.

8.1.1.1 Determinación de capacidad de producción actual

Como se muestra en la Figura 8.5, la determinación de la capacidad de producción actual de la empresa corresponde al primer paso del Diseño del ingreso del producto.

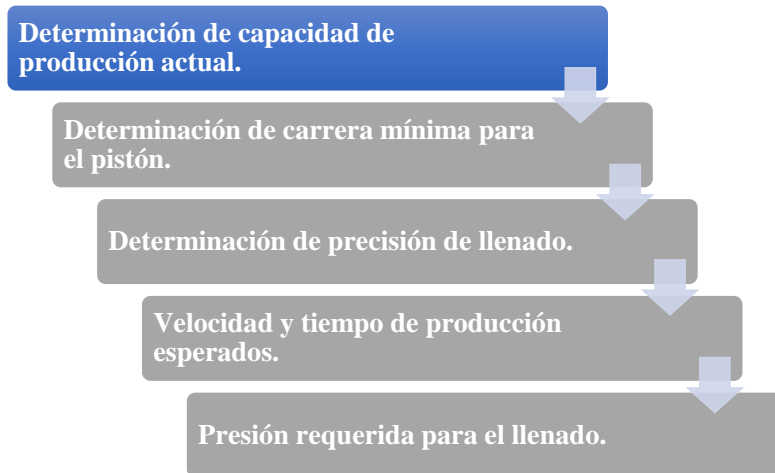


Figura 8.5. Paso 1 del Diseño del ingreso del producto. Fuente: Elaboración propia.

Para determinar la capacidad de producción actual de la empresa, se realizan mediciones del tiempo promedio que toma llenar el producto en cada una de sus presentaciones.

Durante visitas a la empresa se observa el proceso de llenado manual, el cual consiste en utilizar un cucharón grande que se introduce en el contenedor de jalea, el cual una vez lleno se limpia en los bordes para evitar derrames en el empaque final del producto, luego se vierte el contenido del cucharón lentamente en el empaque, una vez se alcanza el peso en la balanza, se deja de verter producto y se repite el proceso.

En el caso que se dosifique más de la cantidad deseada, se debe retirar el excedente hasta lograr el peso deseado y algunas veces se remueve más cantidad de la deseada por lo que se debe colocar nuevamente producto. Cabe destacar que este proceso es muy agotador, provocando que los operarios tarden cada vez más tiempo en completar cada llenado.

Las mediciones del tiempo que toma llenar el producto con 334 ml se muestran en la Tabla 8.1 y para el de 167 ml se muestra en la Tabla 8.2.

Para la toma de estas mediciones se utiliza un cronómetro común, el tiempo contemplado inicia en el momento en que se introduce el cucharón en el contenedor y finaliza cuando se ha dosificado la cantidad deseada. Si es necesario retirar excedente de producto, este tiempo también se incluye en las mediciones, mas no se contempla el tiempo entre llenados (intercambio de empaque lleno por otro vacío).

Tabla 8.1. Tiempo de llenado para el producto de 334 ml.

Medición	Tiempo (t±0.01) s	Medición	Tiempo (t±0.01) s	Medición	Tiempo (t±0.01) s	Medición	Tiempo (t±0.01) s	Medición	Tiempo (t±0.01) s
1	36.82	16	30.37	31	22.9	46	35.32	61	32.99
2	34.17	17	26.48	32	30.91	47	31.55	62	27.5
3	24.6	18	30.1	33	34.73	48	30.16	63	39.2
4	31.3	19	23.23	34	28.32	49	28.44	64	27.58
5	24.14	20	34.09	35	32.31	50	30.03	65	31.9
6	32.56	21	20.73	36	22.31	51	30.42	66	26.62
7	46.5	22	27.59	37	32.04	52	28.49	67	22.33
8	36.56	23	28.42	38	35.68	53	32.24	68	36.91
9	40.53	24	25.97	39	39.63	54	33.69	69	29.18
10	28.42	25	31.6	40	33.69	55	26.80	70	34.04
11	31.41	26	23.76	41	30.46	56	24.93	71	32.03
12	113.47	27	29.73	42	31.7	57	29.5	72	31.89
13	32.43	28	35.43	43	34.6	58	36.10	73	36.85
14	35.99	29	20.41	44	32.62	59	37.00	74	33.09
15	30.41	30	26.73	45	39.98	60	27.74	75	38.89

Fuente: Elaboración propia.

Como se observa en la Tabla 8.1, durante las primeras 30 mediciones es común encontrar tiempos que rondan los 20 segundos, y conforme se llenan más productos, este tiempo va aumentando progresivamente. Un caso particular ocurre en la medición número 45, en donde el tiempo aumenta debido a la necesidad de retirar exceso del empaque.

Tabla 8.2. Tiempo de llenado para el producto de 167 ml.

Medición	Tiempo (t±0.01) s	Medición	Tiempo (t±0.01) s	Medición	Tiempo (t±0.01) s	Medición	Tiempo (t±0.01) s	Medición	Tiempo (t±0.01) s
1	28.02	16	33.32	31	29.42	46	45.2	61	85.96
2	31.39	17	34.99	32	38.9	47	37.65	62	40.97
3	36.84	18	38.91	33	59.57	48	40.13	63	26.51
4	38.95	19	42.86	34	21.62	49	44.7	64	43.65
5	42.38	20	46.78	35	28.77	50	27.81	65	36.09
6	40.79	21	53.29	36	44.94	51	36.49	66	34.86
7	36.62	22	25.65	37	37.36	52	32.77	67	42.49
8	30.64	23	62.73	38	42.85	53	43.9	68	38.35
9	39.96	24	43.25	39	41.95	54	53.97	69	39.7
10	40.07	25	35.54	40	72.00	55	36.95	70	35.8
11	41.03	26	27.59	41	43.78	56	42.38	71	62.72
12	29.41	27	56.44	42	47.58	57	51.04	72	46.16
13	43.62	28	46.02	43	44.36	58	29.99	73	38.7
14	38.33	29	57.34	44	42.19	59	62.22	74	35.43
15	35.57	30	42.81	45	72.57	60	35.77	75	37.91

Fuente: Elaboración propia.

El promedio de medición es de (33.84±0.01) s para el producto con 334 ml y de (41.53±0.01) s para el producto con 167 ml.

Como se observa, el promedio de llenado para presentaciones de 250 g (167 ml) es mayor al de 500 g (334 ml), esto ocurre porque el llenado de volúmenes pequeños requiere de mayor precisión al momento de dosificar para evitar sobrepasar el volumen deseado, caso contrario ocurre con el llenado de la presentación de 500g, en la cual el operario ingresa gran cantidad de producto al inicio y luego continúa dosificando un poco más lento hasta dosificar el peso deseado.

El llenado manual es muy tedioso y lento, además, el operario se cansa muy rápido, especialmente con las bolsas de 250 g, por el tiempo que requieren.

Ahora que se conoce el tiempo de llenado manual, se realiza el cálculo de Velocidad promedio de llenado para cada presentación del producto con la Ec. 8.1.

$$v = \frac{V}{t} \quad (8.1)$$

Para la presentación de 167 ml, la velocidad de llenado se muestra en la Ec. 8.3.

$$v_{peq} = \frac{167 \text{ ml}}{41.53 \text{ s}} \quad (8.2)$$

$$v_{peq} = 4.02 \text{ ml/s} \quad (8.3)$$

Para la presentación de 334 ml, la velocidad de llenado se muestra en la Ec. 8.5.

$$v_{grande} = \frac{334 \text{ ml}}{33.84 \text{ s}} \quad (8.4)$$

$$v_{grande} = 9.87 \text{ ml/s} \quad (8.5)$$

8.1.1.2 Determinación de carrera mínima para el pistón

Como se muestra en la Figura 8.6, la determinación de carrera mínima para el pistón corresponde al segundo paso del Diseño del ingreso del producto.

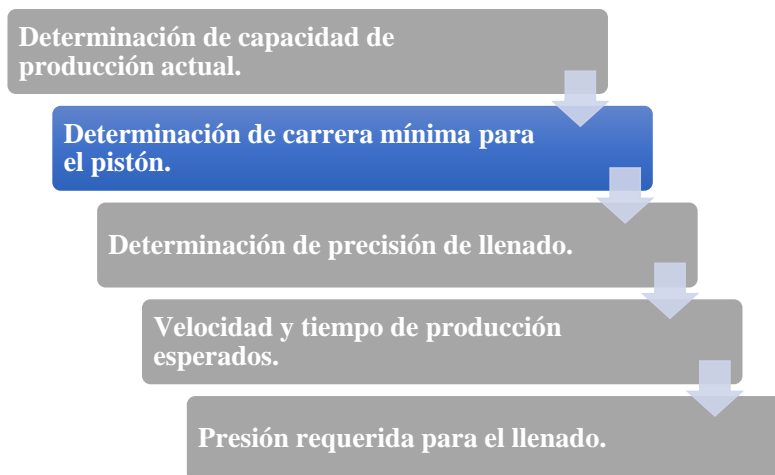


Figura 8.6. Paso 2 del Diseño del ingreso del producto. Fuente: Elaboración propia.

La cantidad de producto que un pistón es capaz de dosificar, depende del volumen que el mismo es capaz de mover, este volumen puede calcularse con el área transversal de los conductos y la

longitud de la carrera. Para esto, se utilizará la tubería de acero inoxidable de grado alimenticio con la que cuenta la empresa, la cual es de 2" con diámetro interno de 47.8 mm como se indica en la Tabla 3.1. Para que el sistema de dosificado cumpla con la Especificación número 4 y 5, este debe ser capaz de llenar entre 100 a 400 ml de producto, para ello, se realiza el cálculo de la carrera del pistón, a partir de la fórmula del volumen de un cilindro: [34]

$$V = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot s \quad (8.6)$$

Despejando, se obtiene la Ec. 8.7:

$$s = \frac{V \cdot 4}{\pi \cdot D^2} \quad (8.7)$$

Al sustituir los valores, se obtiene que la carrera de pistón necesaria para la tubería de 2" es de 188.48 mm, como se muestra en la Ec. 8.9.

$$s = \frac{334000 \text{ mm}^3 \cdot 4}{\pi \cdot (47.5 \text{ mm})^2} \quad (8.8)$$

$$s = 188.48 \text{ mm} \quad (8.9)$$

El pistón con el que cuenta actualmente la empresa posee una carrera de 203.2 mm como se indica en la Tabla 3.3, por lo que cumple con este requisito de carrera mínima.

8.1.1.3 Determinación de precisión de llenado

Como se muestra en la Figura 8.7 y Figura 8.5, la determinación de precisión de llenado corresponde al tercer paso del Diseño del ingreso del producto.

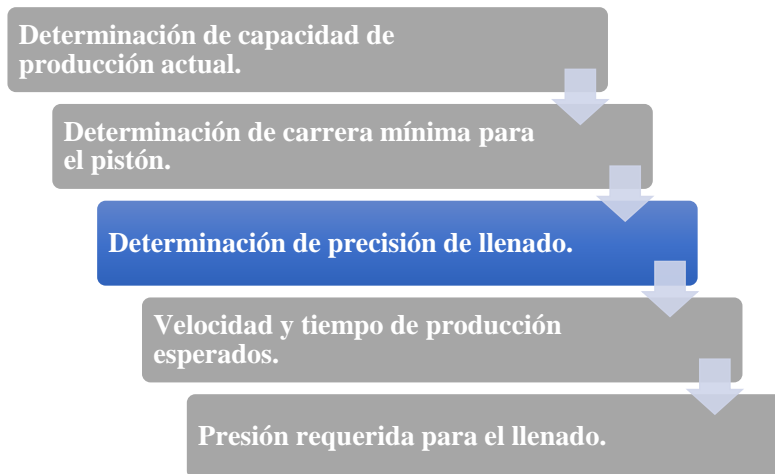


Figura 8.7. Paso 3 del Diseño del ingreso del producto. Fuente: Elaboración propia.

Según las métricas definidas en la Tabla 6.8, el error máximo de llenado del sistema debe ser idealmente de 2%.

Asumiendo un suministro de aire constante, y un correcto funcionamiento del sistema, la precisión de dosificado podría verse afectada por un error de desplazamiento del pistón. Según [35], los pistones Parker con carrera menor a 508 mm, como es el caso del que posee la máquina, poseen una tolerancia de carrera de +0.79 mm y -0.40 mm, por lo que para los cálculos, se considerará un error de desplazamiento un poco mayor, de ± 1 mm [34], se calcula la incertidumbre del dosificado con la Ec. 8.6, con la que se obtiene que, cuando el pistón se desplace 1 mm, incurrirá en alterar el volumen dispensado en 1.79 ml, como indica la Ec. 8.11:

$$V_{\text{Inc}} = \frac{\pi \cdot (47.8 \text{ mm})^2}{4} \cdot (1 \text{ mm}) \quad (8.10)$$

$$V_{\text{Inc}} = 1794.51 \text{ mm}^3 = 1.79 \text{ ml} \quad (8.11)$$

Sabiendo esto, es posible determinar si este volumen se encuentra dentro del error de dosificación permisible, para ello, en la Tabla 8.3 se muestra el volumen al que corresponde dicho error máximo permisible, según se definió en las métricas.

Tabla 8.3. Volumen con error de dosificación del 2% e incertidumbre de dosificado con un conducto de diámetro interno de 47.8 mm para los diferentes volúmenes de producto de la empresa Jaleas AltoBarrantes.

Diámetro interno (mm)	Volumen (ml)	Volumen con error de dosificación del 2% (ml)	Incertidumbre de dosificado (ml)
47.8	167	3.34	1.79
	334	6.68	1.79

Fuente: Elaboración propia.

Como se observa en la Tabla 8.3, la incertidumbre de dosificado se encuentra entre el error de dosificación aceptado.

8.1.1.4 *Velocidad y tiempo de producción esperados*

Como se muestra en la Figura 8.8, la velocidad y tiempo de producción esperados corresponde al cuarto paso del Diseño del ingreso del producto.

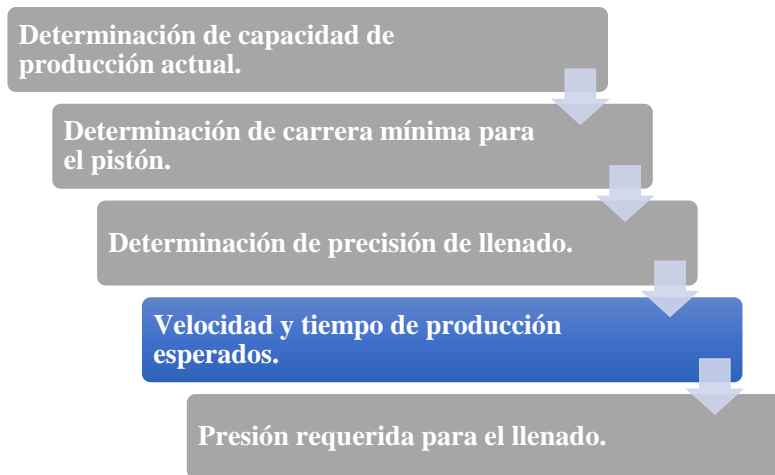


Figura 8.8. Paso 4 del Diseño del ingreso del producto. Fuente: Elaboración propia.

Para aumentar la productividad de la empresa en un 25% tal como se definió en el objetivo general del proyecto, es necesario aumentar la velocidad de llenado como se muestra en la Ec. 8.12. [34]

$$v_{obj} = v_{actual} + v_{actual} \cdot 25\% \quad (8.12)$$

Puesto que el producto de 334 ml es el que posee la mejor velocidad de llenado, mejor tiempo promedio de llenado y más cantidad de producto, se tomará este como referencia para los cálculos futuros, ya que, si se mejora la velocidad y tiempo de llenado de este, por consiguiente, también se mejorará la velocidad para el producto de 167 ml.

$$v_{obj} = 9.87 + 9.87 \cdot 25\% \quad (8.13)$$

$$v_{obj} = 12.34 \text{ ml/s} = 1.234 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s} \quad (8.14)$$

Con la determinación de la Velocidad esperada para aumentar la productividad en un 25%, es posible calcular el tiempo de llenado máximo esperado, despejando la Ec. 8.1.

$$t_{obj} = \frac{334 \text{ ml}}{12.34 \text{ ml/s}} \quad (8.15)$$

$$t_{obj} = 27.07 \text{ s} \quad (8.16)$$

Por lo tanto, el tiempo de llenado máximo a cumplir es de 27.07 s, el cual incluye el tiempo de carga y descarga (succión y dosificación) [34], por lo que se determinará que el tiempo de carga será igual al de descarga, con un valor de 13.54 s cada uno. Puesto que el tiempo que tarda el operario en colocar los envases no es un parámetro que dependa de la máquina, ya que este se realiza manualmente, el mismo no está contemplado en estos 27.07 s.

8.1.1.5 Presión requerida para el llenado

Como se muestra en la Figura 8.9, la presión requerida para el llenado corresponde al último paso del Diseño del ingreso del producto.

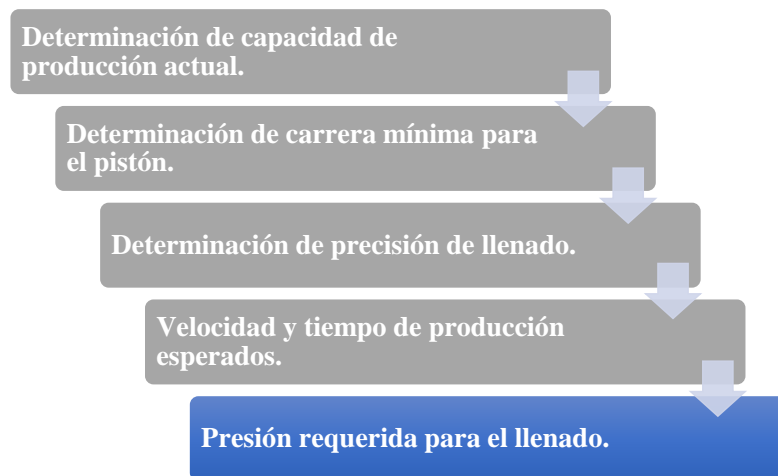


Figura 8.9. Paso 5 del Diseño del ingreso del producto. Fuente: Elaboración propia.

El diseño del ingreso del producto propuesto se muestra en la Figura 8.10, Figura 8.11 y Figura 8.12.

Es importante aclarar que entre cada accesorio de acero inoxidable existe un empaque de teflón con un grosor de 2 mm, el cual no está contemplado en las medidas mostradas de la Figura 8.11, por lo tanto, en caso de querer calcular la distancia total entre los puntos 1-3, el grosor del empaque deberá ser considerado.

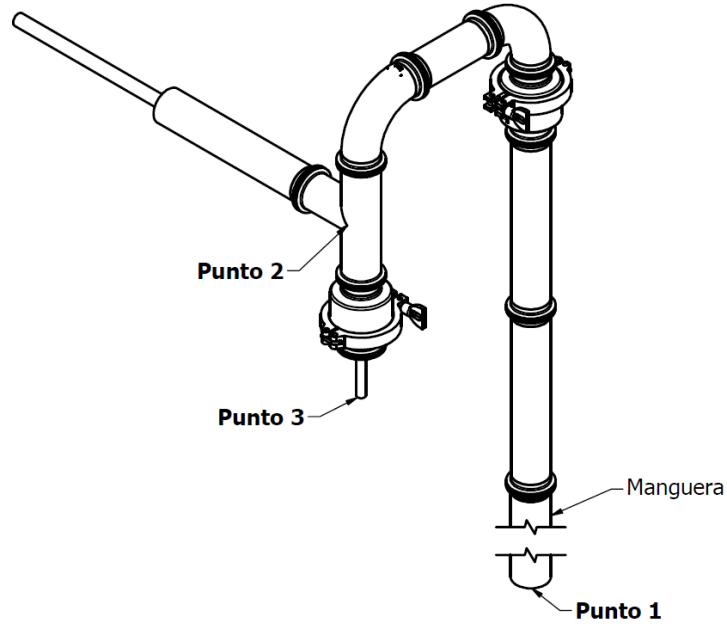


Figura 8.10. Vista 3D del sistema de llenado propuesto. Fuente: Elaboración propia.

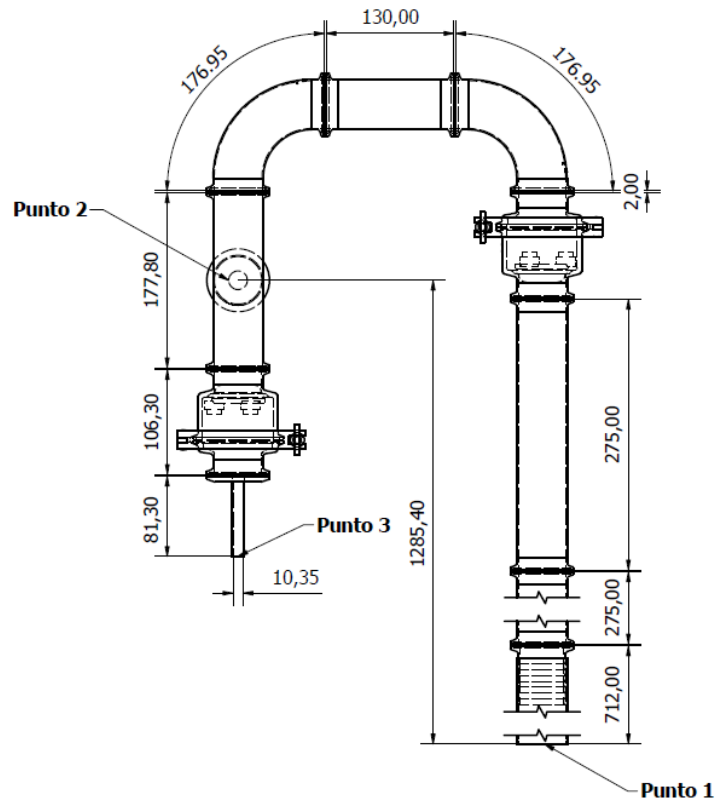


Figura 8.11. Vista frontal del boceto del sistema de llenado propuesto. Fuente: Elaboración propia.

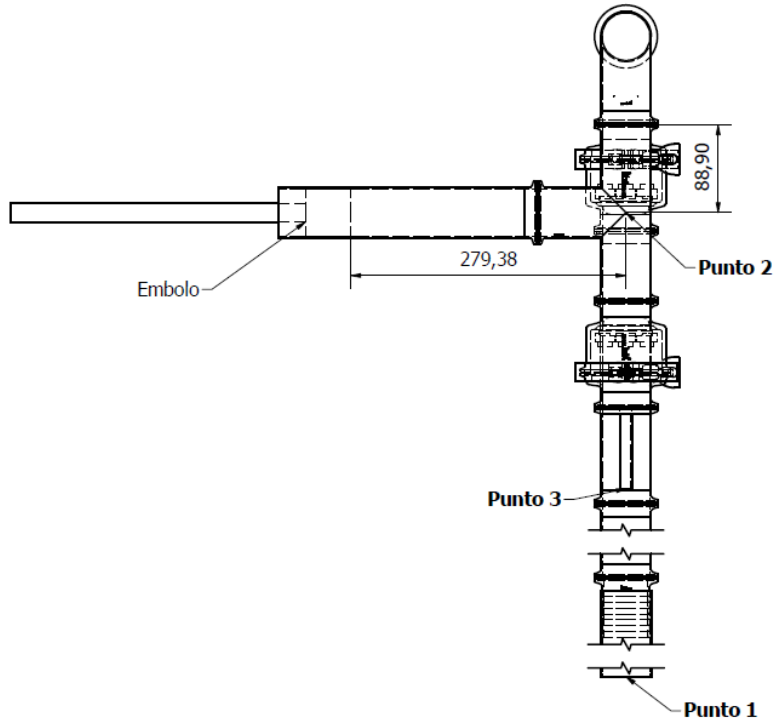


Figura 8.12. Vista lateral del boceto del sistema de llenado propuesto. Fuente: Elaboración propia.

El sistema de dosificado cuenta con dos válvulas check, las cuales permiten que durante la fase de succión, la jalea fluya desde el punto 1 hasta el punto 2, y durante el dosificado que fluya del punto 2 al punto 3. Es decir, la succión y dosificado ocurren de manera independiente y en secciones diferentes de los conductos.

Un parámetro que se mantiene constante durante la fase de succión y dosificado es el caudal, para el cálculo de este se utiliza la Ec. 8.17. El caudal es constante ya que los tiempos de carga y descarga son iguales, su valor se muestra en la Ec. 8.19.

$$Q = \frac{V}{t} \quad (8.17)$$

Para caudal constante durante la carga y descarga:

$$Q = \frac{0.000334 \text{ m}^3}{13.54 \text{ s}} \quad (8.18)$$

$$Q = 24.67 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{s} \quad (8.19)$$

Puesto que el dosificado y succión ocurren de manera independiente y en secciones diferentes de los conductos, se calcularán los requerimientos de presión para ambas fases y el requerimiento mayor será el que determine la presión requerida para todo el sistema de llenado. Esta división o fases del sistema de llenado se muestran en la Figura 8.13.

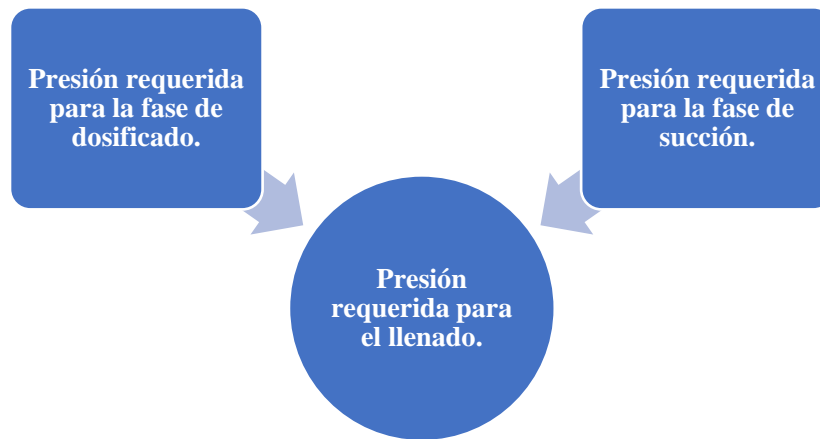


Figura 8.13. Gráfico de la fase de dosificado y succión del sistema de llenado. Fuente: Elaboración propia.

A continuación, se muestran los parámetros que serán calculados tanto para la fase de dosificado como para la fase de succión: [34]

- Cálculo de velocidades.
- Pérdidas de energía menores.
- Pérdidas de energía mayores.
- Presión requerida.

8.1.1.5.1 Presión requerida para la fase de dosificado

Como se muestra en la Figura 8.14, primero se estudiará la presión requerida para la fase de dosificado.

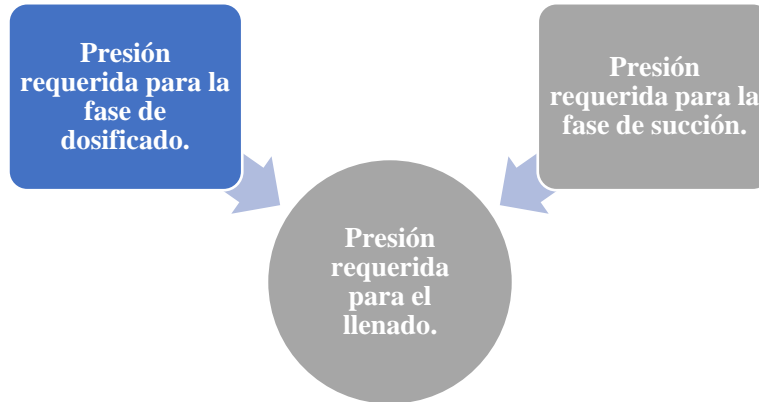


Figura 8.14. Gráfico de la fase de dosificado del sistema de llenado. Fuente: Elaboración propia.

Para el cálculo de la presión que requiere la fase de dosificado, es decir, cuando el producto fluye del punto 2 al punto 3, se puede utilizar la ecuación general de la energía [34], como se muestra en la Ec. 8.20.

$$\frac{P_2}{\gamma} + Z_2 + \frac{v_2^2}{2g} + h_A + h_R - h_L = \frac{P_3}{\gamma} + Z_3 + \frac{v_3^2}{2g} \quad (8.20)$$

Puesto que al sistema no se le añade ni remueve energía, las variables h_A y h_R son cero, además, la presión manométrica en el punto 3 (P_3) es cero ya que, al encontrarse en la salida de la boquilla, aquí se encuentra la presión atmosférica. [34]

Sustituyendo estos valores en la Ec. 8.20. se obtiene la Ec. 8.21.

$$\frac{P_2}{\gamma} + Z_2 + \frac{v_2^2}{2g} - h_L = Z_3 + \frac{v_3^2}{2g} \quad (8.21)$$

Despejando la presión 2 (P_2):

$$P_2 = \rho g \left(\frac{v_3^2}{2g} + Z_3 - Z_2 - \frac{v_2^2}{2g} + h_L \right) \quad (8.22)$$

Como se observa en la Ec. 8.22, para el cálculo de la Presión en el punto 2, es necesario determinar las velocidades en los puntos 2 y 3, así como las pérdidas de energía del sistema.

8.1.1.5.1.1 Cálculo de velocidades

Este corresponde a la primera parte del cálculo de la presión requerida para la fase de dosificado, como se muestra en la Figura 8.15.

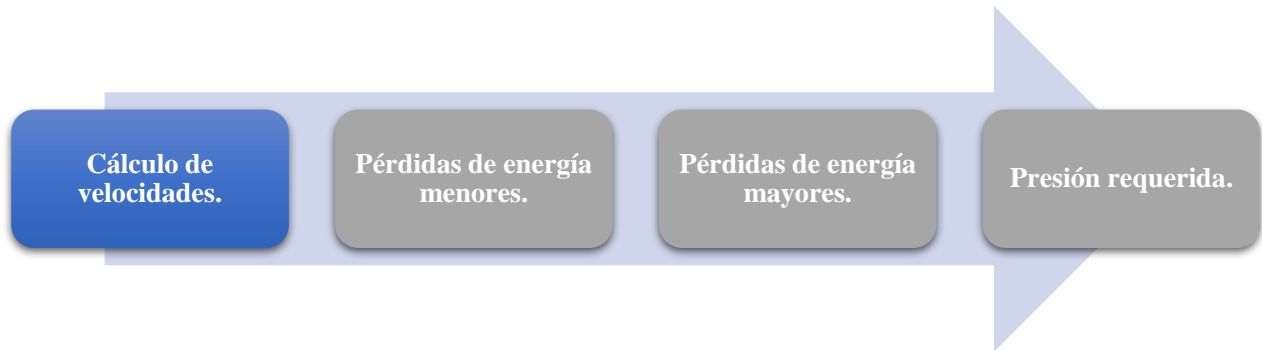


Figura 8.15. Parte 1 del cálculo de la presión requerida para la fase de dosificado. Fuente: Elaboración propia.

Para calcular la velocidad con la que circula un fluido por un conducto, se utiliza la Ec. 8.23.

$$v = \frac{Q}{A_T} \quad (8.23)$$

La velocidad para conductos con diámetro interno de 47.8 mm (0.0478 m) es:

$$v_2 = \frac{24.67 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{s} \cdot 4}{\pi \cdot (0.0478 \text{ m})^2} \quad (8.24)$$

$$v_2 = 0.0137 \text{ m/s} \quad (8.25)$$

Velocidad en la boquilla con diámetro interno de 10.35 mm (0.01035m):

$$v_3 = \frac{24.67 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{s} \cdot 4}{\pi \cdot (0.01035 \text{ m})^2} \quad (8.26)$$

$$v_3 = 0.2932 \text{ m/s} \quad (8.27)$$

8.1.1.5.1.2 Pérdidas de energía menores

Esta corresponde a la segunda parte del cálculo de la presión requerida para la fase de dosificado, como se muestra en la Figura 8.16.

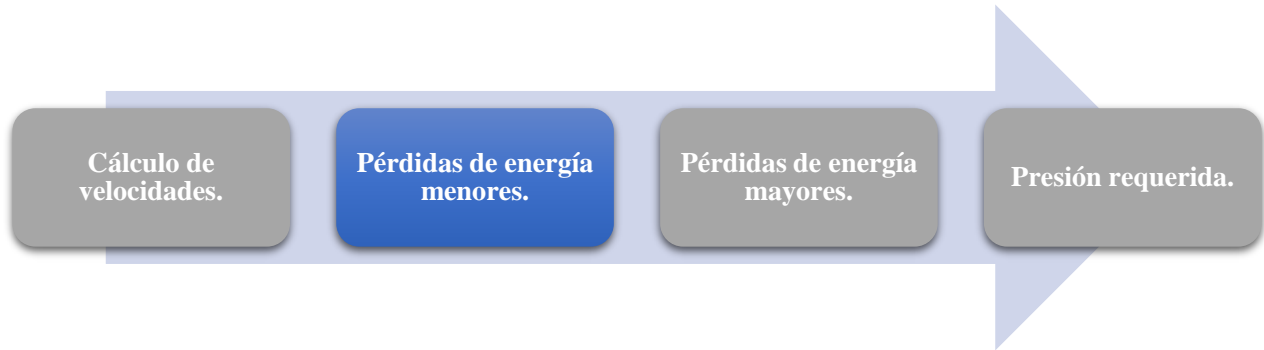


Figura 8.16. Parte 2 del cálculo de la presión requerida para la fase de dosificado. Fuente: Elaboración propia.

Como se mencionó, estas se dan en las ampliaciones o contracciones de sección transversal de los conductos, así como en los codos y válvulas. Recordando, la fórmula para calcular las mismas se muestra en la Ec. 8.28.

$$h_L = K \left(\frac{v^2}{2g} \right) \quad (8.28)$$

8.1.1.5.1.2.1 Pérdidas en conexión en T

Para la conexión en T con bridas y flujo derivado, como se muestra en la Figura 8.17, se tiene que $K_L=1$, sustituyendo en la Ec. 8.28, se obtiene las pérdidas en la Conexión T en la Ec. 8.31.

Conexión en T (flujo deriv.):
Embridado: $K_L = 1.0$
Roscado: $K_L = 2.0$

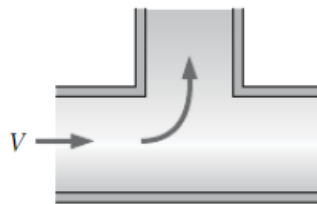


Figura 8.17. Flujo derivado para conexiones en T. [10]

$$h_{L(T)} = K_L \left(\frac{v_2^2}{2g} \right) \quad (8.29)$$

$$h_{L(T)} = 1 \cdot \left(\frac{(0.0137 \text{ m/s})^2}{2 \cdot (9.81 \text{ m/s}^2)} \right) \quad (8.30)$$

$$h_{L(T)} = 9.5663 \times 10^{-6} \text{ m} \quad (8.31)$$

8.1.1.5.1.2.2 Pérdidas en válvula Check

El valor del coeficiente de resistencia para válvulas check, se aproxima al reflejado para válvula de Charnela, ya que en [10], no se muestra el detalle para las válvulas check y las de charnela poseen un funcionamiento similar. Sustituyendo en la Ec. 8.28, se obtiene las pérdidas en la Válvula en la Ec. 8.34.

$$h_{L(\text{válvula})} = K_L \left(\frac{v_2^2}{2g} \right) \quad (8.32)$$

$$h_{L(\text{válvula})} = 2 \cdot \left(\frac{(0.0137 \text{ m/s})^2}{2 \cdot (9.81 \text{ m/s}^2)} \right) \quad (8.33)$$

$$h_{L(\text{válvula})} = 1.9133 \times 10^{-5} \text{ m} \quad (8.34)$$

8.1.1.5.1.2.3 Pérdidas por reducción en boquilla

Puesto que el fluido después de atravesar la válvula debe pasar por la boquilla, enfrenta una reducción de área repentina, como se muestra en la Figura 8.18.

Contracción repentina: ver gráfica.

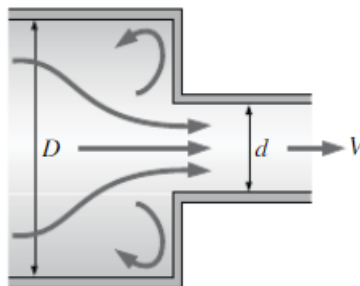


Figura 8.18. Comportamiento del flujo en tuberías con contracción repentina. [10]

Para calcular el coeficiente de pérdida que eso ocasiona, se utiliza la gráfica mostrada en la Figura 8.19.

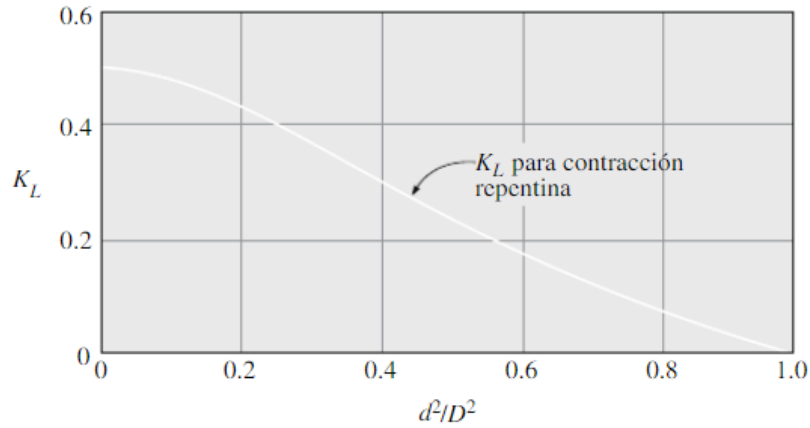


Figura 8.19. Gráfica de valores K_L para contracción repentina. [10]

La relación de diámetros se calcula con la Ec. 8.35.

$$C_{2-3} = \frac{d^2}{D^2} \quad (8.35)$$

$$C_{2-3} = \frac{(0.01035 \text{ m})^2}{(0.0478 \text{ m})^2} \quad (8.36)$$

$$C_{2-3} = 0.0469 \quad (8.37)$$

A partir de la Figura 8.19, es posible determinar que el coeficiente de resistencia es igual a 0.49, lo cual permite calcular las pérdidas mostradas en la Ec. 8.40.

$$h_{L(\text{Redboquilla})} = K_L \left(\frac{v_3^2}{2g} \right) \quad (8.38)$$

$$h_{L(\text{Redboquilla})} = 0.49 \cdot \left(\frac{(0.2932 \text{ m/s})^2}{2 \cdot (9.81 \text{ m/s}^2)} \right) \quad (8.39)$$

$$h_{L(\text{Redboquilla})} = 2.1470 \times 10^{-3} \text{ m} \quad (8.40)$$

8.1.1.5.1.2.4 Totalidad de pérdidas menores

Para obtener la totalidad de pérdidas menores de la fase de dosificado, se suman todas las pérdidas calculadas anteriormente, el total se obtiene en la Ec. 8.43.

$$h_{Lm} = h_{L(T)} + h_{L(Válvula)} + h_{L(Redboquilla)} \quad (8.41)$$

$$h_{Lm} = 9.5663 \times 10^{-6} + 1.9133 \times 10^{-5} + 2.1470 \times 10^{-3} \quad (8.42)$$

$$h_{Lm} = 0.002176 \text{ m} \quad (8.43)$$

8.1.1.5.1.3 Pérdidas de energía mayores

Esta corresponde a la tercera parte del cálculo de la presión requerida para la fase de dosificado, como se muestra en la Figura 8.20.

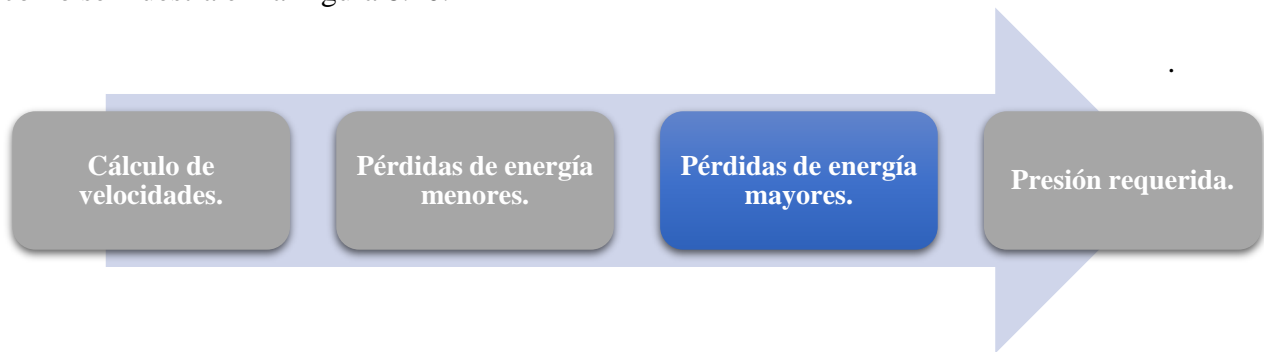


Figura 8.20. Parte 3 del cálculo de la presión requerida para la fase de dosificado. Fuente: Elaboración propia.

Puesto que el valor de la densidad de la jalea que produce la empresa es de 1.5 g/ml (1500 kg/m³) y no se cuenta con el valor de viscosidad dinámica de la misma, se tomará como referencia la miel, la cual posee una densidad similar y su viscosidad dinámica es de 10 Pa s [36].

El análisis de las pérdidas mayores es llevado a cabo en cada sección de los conductos donde se da un cambio de diámetro. En la Tabla 8.4, se muestran las longitudes de la fase de dosificado, la cual se da desde el punto 2 al 3.

Tabla 8.4. Longitudes de las diferentes secciones de la fase de dosificado.

Sección	Diámetro interno (m)	Longitud (mm)	Longitud (m)
2-3	0.0478	474.64	0.4746
3	0.01035	81.30	0.0813

Fuente: Elaboración propia.

8.1.1.5.1.3.1 Pérdidas en sección 2-3

Primeramente, se analiza el comportamiento del flujo con el número de Reynolds.

$$NR = \frac{v_2 D_2 \rho}{\eta} \quad (8.44)$$

$$NR = \frac{0.0137 \frac{m}{s} \cdot 0.0478 m \cdot 1500 \text{ kg/m}^3}{10 \text{ Pa s}} \quad (8.45)$$

$$NR = 0.0982 \quad (8.46)$$

Puesto que el NR obtenido en la Ec. 8.46 es menor a 2300, el comportamiento del fluido en esta sección se considera laminar, por lo tanto, es posible calcular las pérdidas con la ecuación de Hagen-Poiseuille Ec. 8.47.

$$h_{L(2-3)} = \frac{32\eta L_{2-3} v_2}{\rho g D_2^2} \quad (8.47)$$

$$h_{L(2-3)} = \frac{32(10 \text{ Pa s})(0.4746 m)(0.0137 m/s)}{1500 \text{ kg/m}^3 (9.81 m/s^2)(0.0478 m)^2} \quad (8.48)$$

$$h_{L(2-3)} = 0.0619 m \quad (8.49)$$

8.1.1.5.1.3.2 Pérdidas en sección 3

Se analiza el comportamiento del flujo con el número de Reynolds.

$$NR = \frac{v_3 D_3 \rho}{\eta} \quad (8.50)$$

$$NR = \frac{0.2932 m/s \cdot 0.01035 m \cdot 1500 \text{ kg/m}^3}{10 \text{ Pa s}} \quad (8.51)$$

$$NR = 0.4552 \quad (8.52)$$

Puesto que el $NR < 2300$, el comportamiento del fluido en esta sección se considera laminar, por lo tanto, es posible calcular las pérdidas con la ecuación de Hagen- Poiseuille Ec. 8.53.

$$h_{L(3)} = \frac{32\eta L_3 v_3}{\rho g D_3^2} \quad (8.53)$$

$$h_{L(3)} = \frac{32(10 \text{ Pa s})(0.0813 \text{ m})(0.2932 \text{ m/s})}{1500 \text{ kg/m}^3(9.81 \text{ m/s}^2)(0.01035 \text{ m})^2} \quad (8.54)$$

$$h_{L(3)} = 4.8391 \text{ m} \quad (8.55)$$

8.1.1.5.1.3.3 Totalidad de pérdidas mayores

Para obtener la totalidad de pérdidas mayores de la fase de dosificado, se suman todas las pérdidas calculadas anteriormente, el total se obtiene en la Ec. 8.58.

$$h_{LM} = h_{L(2-3)} + h_{L(3)} \quad (8.56)$$

$$h_{Lm} = 0.0619 \text{ m} + 4.8391 \text{ m} \quad (8.57)$$

$$h_{Lm} = 4.901 \text{ m} \quad (8.58)$$

8.1.1.5.1.4 Totalidad de pérdidas de energía

Una vez calculadas las pérdidas menores y mayores del dosificado, es posible obtener las pérdidas totales, realizando la siguiente suma:

$$h_L = h_{Lm} + h_{LM} \quad (8.59)$$

$$h_L = 0.002176 \text{ m} + 4.901 \text{ m} \quad (8.60)$$

$$h_L = 4.9032 \text{ m} \quad (8.61)$$

8.1.1.5.1.5 Presión del pistón

Este corresponde a la última parte del cálculo de la presión requerida para la fase de dosificado, como se muestra en la Figura 8.21

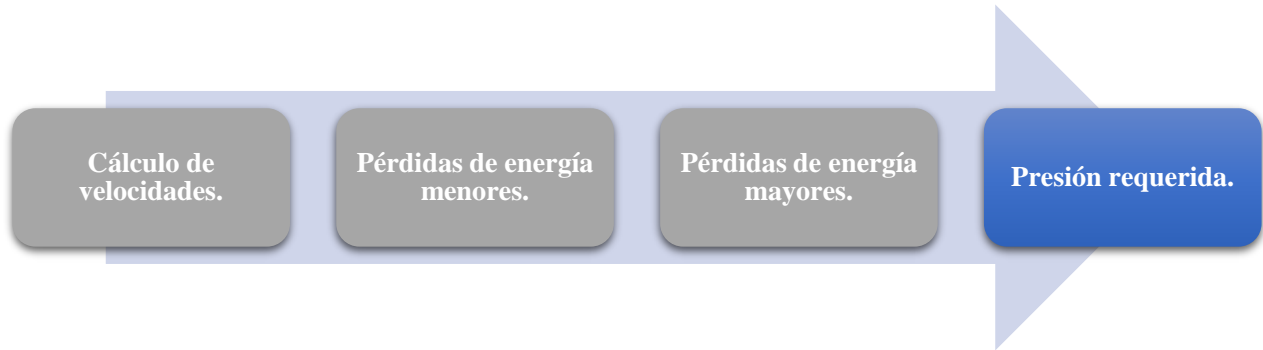


Figura 8.21. Parte 4 del cálculo de la presión requerida para la fase de dosificado. Fuente: Elaboración propia.

Una vez calculadas todas las pérdidas que existen en los conductos de la fase de dosificado, es posible calcular la presión 2 (P_2), la cual corresponde a la presión que el pistón debe ser capaz de suministrar como mínimo para poder llevar a cabo la fase de dosificado.

Retomando la Ec. 8.22 indicada anteriormente:

$$P_2 = \rho g \left(\frac{v_3^2}{2g} + Z_3 - Z_2 - \frac{v_2^2}{2g} + h_L \right) \quad (8.22)$$

Sustituyendo los valores calculados para la fase de dosificado:

$$P_2 = (1500 \text{ kg/m}^3)(9.81 \text{ m/s}^2) \left(\frac{0.2932 \text{ m/s}^2}{2(9.81 \text{ m/s}^2)} + Z_3 - Z_2 - \frac{0.0137 \text{ m/s}^2}{2(9.81 \text{ m/s}^2)} + 4.9032 \text{ m} \right) \quad (8.62)$$

Puesto que el punto 2 se encuentra a una mayor elevación que el punto 3, el resultado de restar la altura 3 menos la 2 ($Z_3 - Z_2$) dará una diferencia de altura negativa de 276.56 mm (0.27656 m).

Sustituyendo este valor en la Ec. 8.63, se obtiene el valor de la presión requerida en el punto 2 mostrada en la Ec. 8.64:

$$P_2 = \left(\frac{1500 \text{ kg}}{\text{m}^3} \right) \left(\frac{9.81 \text{ m}}{\text{s}^2} \right) \left(\frac{(0.2932 \text{ m/s})^2}{2(9.81 \text{ m/s}^2)} - 0.27656 \text{ m} - \frac{(0.0137 \text{ m/s})^2}{2(9.81 \text{ m/s}^2)} + 4.9032 \text{ m} \right) \quad (8.63)$$

$$P_2 = 68145.3 \text{ Pa} \quad (8.64)$$

8.1.1.5.2 Presión requerida para la fase de succión

Una vez calculada la presión para la fase de dosificado ahora se procede a calcular la presión para la fase de succión como se muestra en la Figura 8.22.

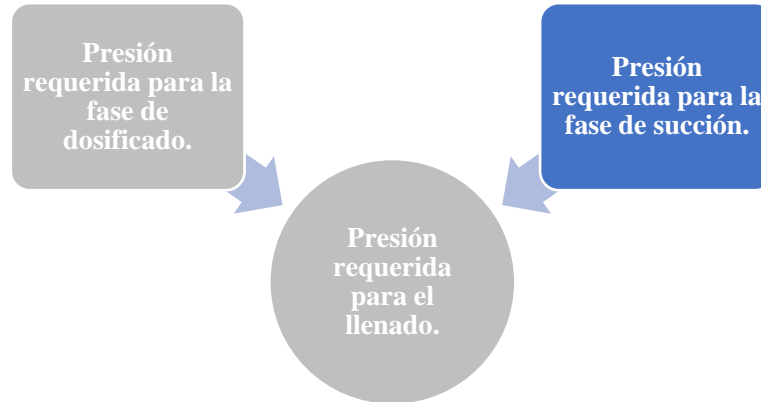


Figura 8.22. Gráfico de la fase de succión del sistema de llenado. Fuente: Elaboración propia.

Para el cálculo de la presión que requiere la fase de succión, es decir, cuando el producto fluye del punto 1 al punto 2, se utiliza la ecuación general de la energía [34] presenta en la Ec. 8.65.

$$\frac{P_1}{\gamma} + Z_1 + \frac{v_1^2}{2g} + h_A + h_R - h_L = \frac{P_2}{\gamma} + Z_2 + \frac{v_2^2}{2g} \quad (8.65)$$

Puesto que al sistema no se le añade ni remueve energía, las variables h_A y h_R son cero. [34]

Sustituyendo estos valores en la Ec. 8.65, se obtiene la Ec. 8.66.

$$\frac{P_1}{\gamma} + Z_1 + \frac{v_1^2}{2g} - h_L = \frac{P_2}{\gamma} + Z_2 + \frac{v_2^2}{2g} \quad (8.66)$$

Despejando la presión 2 (P_2):

$$P_2 = \rho g \left(\frac{P_1}{\rho g} + Z_1 - Z_2 + \frac{v_1^2}{2g} - \frac{v_2^2}{2g} - h_L \right) \quad (8.67)$$

Para el cálculo de la Presión en el punto 2, es necesario determinar las pérdidas de energía del sistema (h_L) y las velocidades.

En la succión se tiene a la manguera y tubería de acero, puesto que sus secciones poseen casi la misma área transversal (47.8 mm para tuberías de acero y 50.8 mm para la manguera), se decide simplificar el cálculo asumiendo que desde el punto 1 al 2 existe un área transversal de 47.8 mm.

8.1.1.5.2.1 Cálculo de velocidades

Este corresponde a la primera parte del cálculo de la presión requerida para la fase de succión, como se muestra en la Figura 8.23.

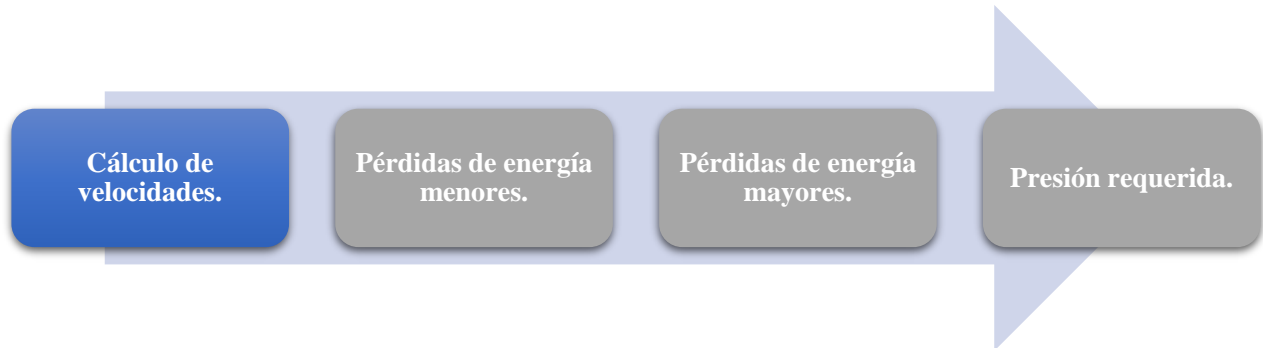


Figura 8.23. Parte 1 del cálculo de la presión requerida para la fase de succión. Fuente: Elaboración propia.

Como se mencionó anteriormente, la velocidad depende del caudal y el área transversal de la sección (Ec. 8.23).

Puesto que el caudal es constante tanto en la succión como en el dosificado y el área transversal se asume igual desde el punto 1 al 2, las velocidades del punto 1 y 2 son iguales.

$$v_1 = v_2 = 0.0137 \text{ m/s} \quad (8.68)$$

8.1.1.5.2.2 Pérdidas de energía menores

Esta corresponde a la segunda parte del cálculo de la presión requerida para la fase de succión, como se muestra en la Figura 8.24.

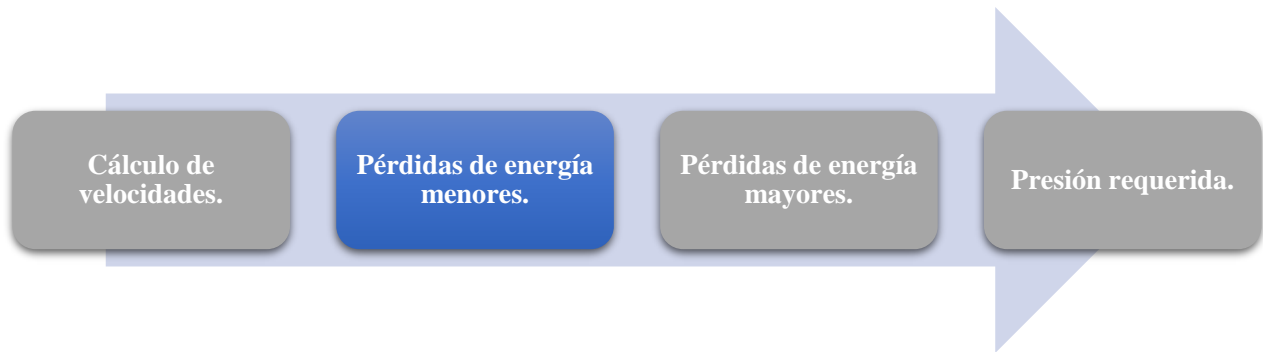


Figura 8.24. Parte 2 del cálculo de la presión requerida para la fase de succión. Fuente: Elaboración propia.

8.1.1.5.2.2.1 Pérdidas en válvula Check

Puesto que la válvula check de la fase de succión es igual a la de la fase de dosificado, y la velocidad 2 y 3 son iguales, la pérdida es la misma.

$$h_{L(\text{válvula})} = 1.9133 \times 10^{-5} \text{ m} \quad (8.69)$$

8.1.1.5.2.2.2 Pérdidas en codos: Codo suave de 90°

Para la fase de succión, el fluido debe atravesar 2 codos suaves de 90° embridados, por lo tanto, la pérdida se multiplica por dos.

Como se muestra en la Figura 8.25, para este tipo de codo, se tiene que $K_L = 0.3$, sustituyendo en la Ec. 8.28, se obtienen las pérdidas de la Ec. 8.72:

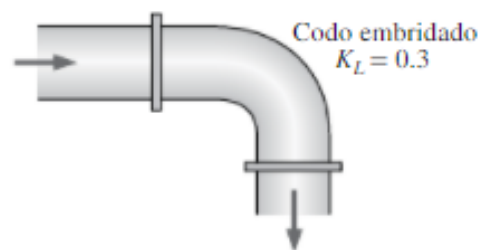


Figura 8.25. Coeficiente de pérdida en codo embridado. [10]

$$h_{L(\text{Codos})} = K_L \left(\frac{v_2^2}{2g} \right) \cdot 2 \quad (8.70)$$

$$h_{L(Codos)} = 0.3 \cdot \left(\frac{(0.0137 \text{ m/s})^2}{2(9.81)} \right) \cdot 2 \quad (8.71)$$

$$h_{L(Codos)} = 5.7398 \times 10^{-6} \text{ m} \quad (8.72)$$

8.1.1.5.2.2.3 Pérdidas en conexión en T

Puesto que el fluido pasa por la T tal como sucede en la fase de dosificado, con la misma velocidad, la pérdida es la misma.

$$h_{L(T)} = 9.5663 \times 10^{-6} \text{ m} \quad (8.73)$$

8.1.1.5.2.2.4 Totalidad de pérdidas menores

Para obtener la totalidad de pérdidas menores de la fase de dosificado, se suman todas las pérdidas calculadas anteriormente, el total se obtiene en la Ec. 8.76.

$$h_{Lm} = h_{L(Válvula)} + h_{L(Codos)} + h_{L(T)} \quad (8.74)$$

$$h_{Lm} = 1.9133 \times 10^{-5} \text{ m} + 5.7398 \times 10^{-6} \text{ m} + 9.5663 \times 10^{-6} \text{ m} \quad (8.75)$$

$$h_{Lm} = 0.000034 \text{ m} \quad (8.76)$$

8.1.1.5.2.3 Pérdidas de energía mayores

Esta corresponde a la tercera parte del cálculo de la presión requerida para la fase de succión, como se muestra en la Figura 8.26.

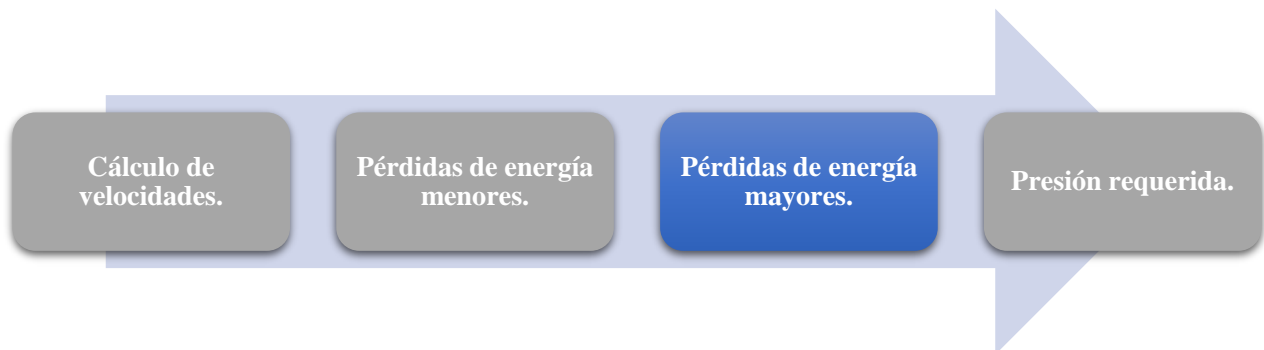


Figura 8.26. Parte 3 del cálculo de la presión requerida para la fase de succión. Fuente:

Elaboración propia.

Como se indicó anteriormente, las pérdidas mayores se dan por la fricción que sufre el líquido al atravesar un diámetro y para calcularla es necesario determinar si el fluido es laminar o

turbulento. Para los cálculos de la fase de succión, también se utilizará la densidad de la jalea (1500 kg/m³) y la viscosidad dinámica de la miel (10 Pa s) [36].

Asumiendo un único diámetro del punto 1 al 2, solo existe una pérdida mayor de longitud 2.1535 m.

8.1.1.5.2.3.1 Pérdidas en sección 1-2

Primeramente, se analiza el comportamiento del flujo, para ello se calcula el número de Reynolds con la Ec. 8.77.

$$NR = \frac{v_2 D_2 \rho}{\eta} \quad (8.77)$$

$$NR = \frac{0.0137 \frac{m}{s} \cdot 0.0478 m \cdot 1500 \text{ kg/m}^3}{10 \text{ Pa s}} \quad (8.78)$$

$$NR = 0.0982 \quad (8.79)$$

Puesto que el $NR < 2300$, el comportamiento del fluido en esta sección se considera laminar, por lo tanto, es posible calcular las pérdidas con la ecuación de Hagen-Poiseuille Ec. 8.80.

$$h_{L(1-2)} = \frac{32\eta L_{1-2} v_2}{\rho g D_2^2} \quad (8.80)$$

$$h_{L(1-2)} = \frac{32(10 \text{ Pa s})(2.1535 \text{ m})(0.0137 \text{ m/s})}{1500 \text{ kg/m}^3 (9.81 \text{ m/s}^2)(0.0478 \text{ m})^2} \quad (8.81)$$

$$h_{L(1-2)} = 0.2808 \text{ m} \quad (8.82)$$

8.1.1.5.2.3.2 Totalidad de pérdidas mayores

Puesto que solo existe una pérdida mayor, esta corresponde a la totalidad de pérdidas mayores.

$$h_{LM} = 0.2808 \text{ m} \quad (8.83)$$

8.1.1.5.2.4 Totalidad de pérdidas de energía

Una vez de calculadas las pérdidas menores y mayores de la fase de succión, es posible obtener las pérdidas totales, realizando la siguiente suma:

$$h_L = h_{Lm} + h_{LM} \quad (8.84)$$

$$h_L = 0.000034 \text{ m} + 0.2808 \text{ m} \quad (8.85)$$

$$h_L = 0.2808 \text{ m} \quad (8.86)$$

8.1.1.5.2.5 Presión del pistón

Esta corresponde a la última parte del cálculo de la presión requerida para la fase de succión, como se muestra en la Figura 8.27.

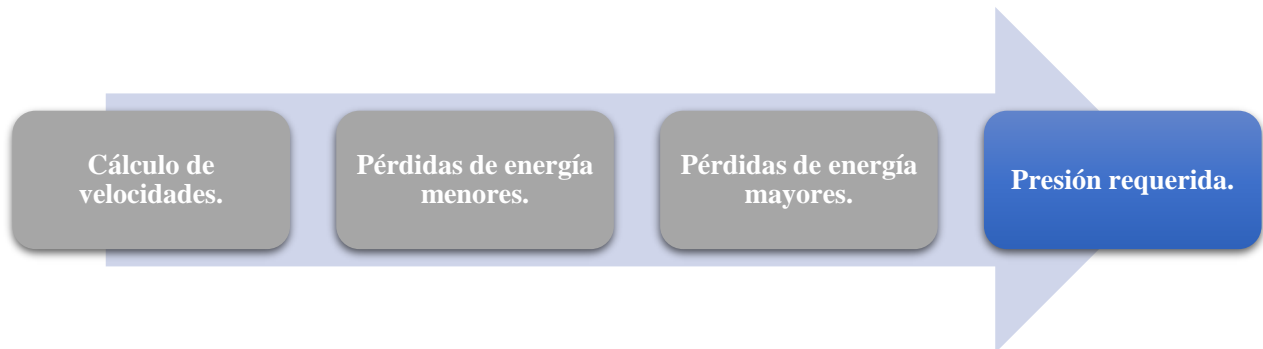


Figura 8.27. Parte 4 del cálculo de la presión requerida para la fase de succión. Fuente: Elaboración propia.

Una vez calculadas todas las pérdidas que existen en los conductos de la fase de succión, es posible calcular la presión 2 (P_2), la cual corresponde a la presión que el pistón debe ser capaz de suministrar como mínimo para poder llevar a cabo la fase de succión.

Retomando la Ec. 8.67 indicada anteriormente:

$$P_2 = \rho g \left(\frac{P_1}{\rho g} + Z_1 - Z_2 + \frac{v_1^2}{2g} - \frac{v_2^2}{2g} - h_L \right) \quad (8.87)$$

Sabiendo que las velocidades del punto 1 y 2 son iguales, los términos de las velocidades se cancelan y se obtiene la Ec. 8.88.

$$P_2 = \rho g \left(\frac{P_1}{\rho g} + Z_1 - Z_2 - h_L \right) \quad (8.88)$$

Puesto que el punto 2 se encuentra a una mayor elevación que el punto 1, el resultado de restar la altura 1 menos la 2 ($Z_1 - Z_2$) dará una diferencia de altura negativa de (1.2827 m) [11]. Sustituyendo este valor y los demás valores conocidos obtenemos la Ec. 8.89.

$$P_2 = \left(\frac{1500 \text{ kg}}{\text{m}^3} \right) \left(\frac{9.81 \text{ m}}{\text{s}^2} \right) \left(\frac{P_1}{(1500 \text{ kg/m}^3)(9.81 \text{ m/s}^2)} - 1.2827 \text{ m} - 0.2808 \text{ m} \right) \quad (8.89)$$

Para encontrar la presión del punto 1, se utiliza el diagrama de la Figura 8.28, donde se muestra el ingreso de jalea desde el contenedor.

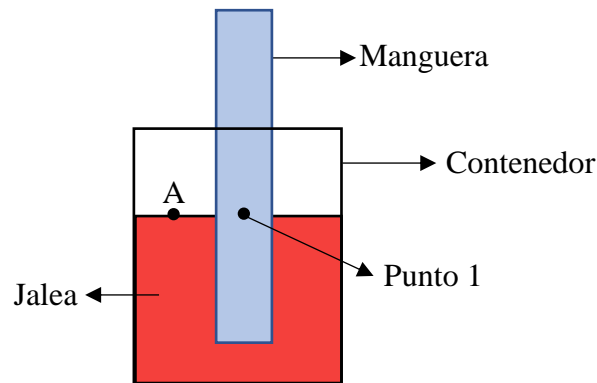


Figura 8.28. Presión del punto 1. Fuente: Elaboración propia.

Utilizando la ecuación de Bernoulli con los puntos 1 y A, obtenemos la Ec. 8.90.

$$\frac{P_A}{\gamma} + \frac{v_A^2}{2g} + Z_A = \frac{P_1}{\gamma} + \frac{v_1^2}{2g} + Z_1 \quad (8.90)$$

Puesto que el punto A y el punto 1 se encuentran a la misma altura ($Z_A = Z_1$), se cancelan estos términos, además, el contenedor está abierto por lo que la presión en el punto A (P_A) es igual a la atmosférica, es decir, cero. También, es posible aproximar la velocidad del punto A (v_A) como cero, ya que el recipiente es ancho y la velocidad de descenso es despreciable.

Esto nos simplifica la Ec. 8.90 y obtenemos la Ec. 8.91.

$$0 = \frac{P_1}{\gamma} + \frac{v_1^2}{2g} \quad (8.91)$$

Despejando la presión y sustituyendo el peso específico, obtenemos:

$$P_1 = -\rho g \frac{v_1^2}{2g} \quad (8.92)$$

$$P_1 = -(1500 \text{ kg/m}^3)(9.81 \text{ m/s}^2) \frac{(0.0137 \text{ m/s})^2}{2 \cdot 9.81 \text{ m/s}^2} \quad (8.93)$$

$$P_1 = -0.1408 \text{ Pa} \quad (8.94)$$

Con la determinación de la presión del punto 1 (P_1) es posible realizar el cálculo de la presión del punto 2, sustituyendo este valor de presión se obtiene:

$$P_2 = \left(\frac{1500 \text{ kg}}{\text{m}^3} \right) \left(\frac{9.81 \text{ m}}{\text{s}^2} \right) \left(\frac{-0.1408 \text{ Pa}}{(1500 \text{ kg/m}^3)(9.81 \text{ m/s}^2)} - 1.2827 \text{ m} - 0.2808 \text{ m} \right) \quad (8.95)$$

$$P_2 = -23007 \text{ Pa} \quad (8.96)$$

Esta presión es la que el pistón debe ser capaz de suministrar como mínimo para poder llevar a cabo la fase de succión.

8.1.1.5.3 Resultados

Después de analizar los requerimientos de presión del sistema de llenado propuesto, se obtienen los resultados de la Tabla 8.5.

Tabla 8.5. Requerimientos de presión mínimos para llevar a cabo las diferentes fases del sistema de llenado.

Fase	Requerimientos de presión (Pa)
Dosificado	68 145.3
Succión	-23 007

Fuente: Elaboración propia.

Tal como se observa en la Tabla 8.5, la fase con mayor requerimiento de presión es la de dosificado. Por lo tanto, el sistema neumático debe ser capaz de suministrar esta cantidad de presión como mínimo para asegurar que es adecuado para el nuevo diseño de los conductos de alimentación de la máquina.

La fuerza requerida para ejercer esta presión sobre el fluido se calcula con la Ec. 8.97.

$$P = \frac{F}{A_T} \quad (8.97)$$

Sustituyendo el valor más alto de presión obtenido y el área transversal del conducto donde se ubica el émbolo, que es el que se encarga del dosificado, se obtiene la fuerza de la Ec. 8.100.

$$F = PA_T \quad (8.98)$$

$$F = 68145.3 \text{ Pa} \cdot \frac{\pi \cdot (0.0478 \text{ m})^2}{4} \quad (8.99)$$

$$F = 122.287 \text{ N} \quad (8.100)$$

8.1.2 Diseño del sistema neumático

Como se muestra en la Figura 8.29, el Diseño del sistema neumático corresponde a la segunda etapa del Diseño Mecánico.

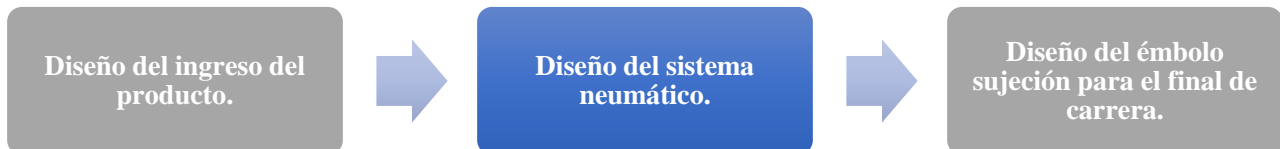


Figura 8.29. Etapa Diseño del sistema neumático del Diseño Mecánico. Fuente: Elaboración propia.

Para el diseño neumático es necesario analizar las especificaciones de cada uno de los componentes con los que cuenta la máquina, y así determinar si los mismos cumplen los requerimientos de presión calculados. Para esto se utilizará la Tabla 8.6.

Tabla 8.6. Análisis de componentes del sistema neumático.

Componente	Presión máx.
Compresor	125 psi (8.62 bar)
Pistón	250 psi (17 bar)
Unidad de preparación de aire (FRL)	150 psi (10 bar)
Electroválvula direccional	36.26 ... 145.06 psi (2.5 ... 10 bar)
Válvula de control de flujo	145.038 psi (10 bar)

Fuente: Elaboración propia.

Según las especificaciones de los componentes, mostradas en la Tabla 8.6, el sistema neumático es capaz de llevar a cabo el llenado sin dificultad ya que los componentes están diseñados para trabajar bajo presiones mucho mayores a la que requiere el sistema de llenado propuesto (68 145.3 Pa = 0.68 bar).

Sin embargo, retomando las observaciones sobre el comportamiento del equipo mencionadas en Diagnóstico de la máquina actual, durante el uso del equipo fue posible observar que el compresor recarga aire constantemente y el pistón a veces se mueve lentamente para luego realizar un movimiento explosivo. Según este comportamiento, es necesaria la elección de otro compresor con mayor caudal.

Actualmente se llena 1 bolsa de 500 g en un promedio de tiempo de 33.84 s, si se desea mejorar este tiempo en un 25%, el nuevo tiempo sería de:

$$t = 33.84 \text{ s} - 33.84 \text{ s} * 25\% \quad (8.101)$$

$$t = 25.38 \text{ s} \quad (8.102)$$

Lo cual significaría que en 1 minuto, se deben poder llenar 2.36 bolsas, las cuales se redondean a 3 por minuto, ósea, 180 por hora.

Para calcular el caudal necesario se utiliza el volumen del agujero del pistón de la máquina, y se supone que se desea llenar 180 bolsa por hora. Como un llenado requiere llenar dos veces el agujero del pistón, el cálculo del caudal sería el mostrado en la Ec. 8.103:

$$Q = \frac{2 \cdot V_{piston} \cdot 180}{1 h} \quad (8.103)$$

$$Q = \frac{2 \cdot \frac{\pi \cdot (101.6 \text{ mm})^2}{4} \cdot 203.2 \text{ mm} \cdot 180 \text{ bolsas}}{1 h} \quad (8.104)$$

$$Q = 593\,066\,648.2 \text{ mm}^3/h = 593.067 \text{ L/h} \quad (8.105)$$

Según [37], “para evitar imprevistos, aunque sin sobredimensionar el compresor, será conveniente prever un margen de seguridad de aproximadamente un 30 % por encima de los requisitos estimados”, por lo que el requisito de presión y caudal serían los mostrados en la Tabla 8.7.

Tabla 8.7. Requerimientos de presión y caudal para el compresor a elegir.

Caudal (L/h)	Presión (bar)
770.99	0.88

Fuente: Elaboración propia.

Puesto que el compresor actual no posee un comportamiento funcional para la máquina por el gran ruido que genera la constante recarga de aire que realiza, además de que el mismo se utiliza para otras actividades del sector construcción, se recomienda adquirir un nuevo compresor que cumpla con los requerimientos y que además se utilice exclusivamente para la llenadora. Se elige el compresor Campbell Hausfeld DC260000.

Por otro lado, se recomienda limpiar los componentes neumáticos actuales y utilizar aceite de grado alimenticio para lubricación del aire y así evitar que el aire pueda contaminar el producto.

8.1.3 Validación de componentes existentes

8.1.3.1 *Émbolo*

Como se muestra en la Figura 8.30, la validación del diseño del embolo y sujeción para el final de carrera corresponde a la tercer etapa del Diseño Mecánico.

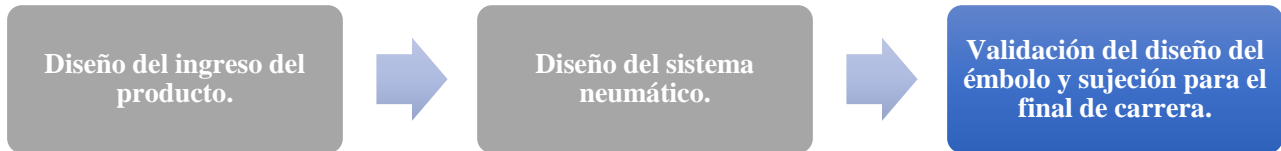


Figura 8.30. Etapa validación del diseño del émbolo y sujeción para el final de carrera del Diseño Mecánico. Fuente: Elaboración propia.

En esta sección se analizará el diseño del embolo y sujeción del final de carrera con el que cuenta la empresa para determinar si es necesario realizar cambios, diseñarlos nuevos o bien, si se pueden utilizar los mismos.

Primeramente se analiza el embolo, este se muestra en la Figura 8.31.



Figura 8.31. Embolo de la maquina llenadora actual. Fuente: Elaboración propia.

Los sellos, que este embolo utiliza, son los mostrados en la Figura 8.32.



Figura 8.32. Sello HALLITE 8835310. Fuente: Elaboración propia.

Para determinar si las dimensiones con las que cuenta el embolo son las correctas, se consultan las medidas recomendadas por el fabricante de los empaques HALLITE, el montaje se muestra en la Figura 8.33.

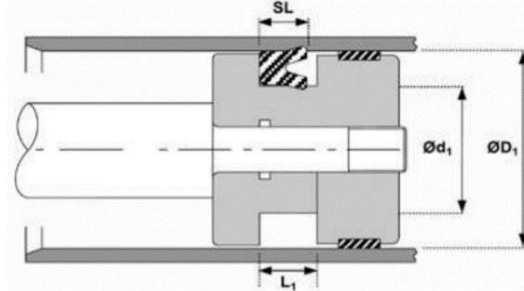


Figura 8.33. Dimensiones y montaje de los sellos HALLITE en el embolo. [38]

8.1.3.1.1 Profundidad de canales del embolo

Para calcular la profundidad de los canales se utiliza la diferencia de diámetros interno y externo que se muestra en la Figura 8.33, a esta se le llamará “h”.

$$h = \frac{\varnothing D_1 - \varnothing d_1}{2} \quad (8.106)$$

$$h = \frac{1.875 \text{ in} - 1.500 \text{ in}}{2} \quad (8.107)$$

$$h = \frac{0.375}{2} \quad (8.108)$$

$$h = 0.1875 \text{ in} = 4.76 \text{ mm} \quad (8.109)$$

8.1.3.1.2 Ancho del canal

Esta dimensión corresponde a L_1 y se obtiene directamente del Anexo B. Sellos HALLITE.

$$L_1 = 0.275 \text{ in} = 6.985 \text{ mm} \quad (8.110)$$

8.1.3.1.2.1 Comparación de dimensiones calculadas vs las actuales

Para realizar dicha comparación, se colocan las dimensiones del embolo actual y las calculadas en la Tabla 8.8.

Tabla 8.8. Dimensiones del embolo recomendadas en el catálogo Hallite y dimensiones del embolo actual de la empresa.

Sección	Dimensión recomendada por fabricante (mm)	Dimensión del embolo existente (± 0.01 mm)	Diferencia (mm)
h	4.76	5.15	0.390
L ₁	6.985	6.80	0.185

Fuente: Elaboración propia.

Como se muestra en la Tabla 8.8, la diferencia en las dimensiones recomendadas versus las reales es menor a medio milímetro, por lo tanto, se considera que las dimensiones del embolo actual de la empresa son aceptables.

8.1.3.2 *Sujeción para el final de carrera*

Para el final de carrera fue posible observar que el mismo contaba con virutas de soldadura adheridas a las placas de sujeción lo cual disminuía considerablemente su fricción, haciendo posible que el mismo se moviera al entrar en contacto con el pistón, por lo que para solucionar esto se propone la eliminación de las virutas.

Además, se realizó un cambio en los tornillos ya que con los que contaba anteriormente no eran los adecuados para las roscas, por lo que no realizaban el apriete necesario para evitar el desplazamiento del final de carrera.

Se propone realizar estos cambios y luego probar el resultado de la sujeción una vez modificado.

8.2 Diseño del control automático

Como se muestra en la Figura 8.34, una vez realizado el Diseño Mecánico, se continúa con el Diseño del control.

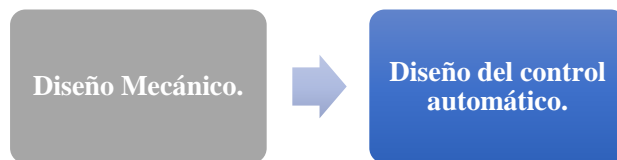


Figura 8.34. Diseño del control automático de la Propuesta de Diseño. Fuente: Elaboración propia.

8.2.1 Selección del controlador

Para la elección del controlador se consideran diversos aspectos, mostrados en la Tabla 8.9.

Tabla 8.9. Selección del controlador.

		Controlador					
		Zelio SRUB101FU		Raspberry pi		Arduino	
Crterios de selección	Peso	Calificación	Evaluación ponderada	Calificación	Evaluación ponderada	Calificación	Evaluación ponderada
Entradas y salidas suficientes.	25%	3	0.75	3	0.75	3	0.75
Facilidad de manipulación.	25%	3	0.75	1	0.25	1	0.25
Intuitivo.	25%	3	0.75	2	0.5	2	0.5
Bajo costo.	25%	3	0.75	1	0.25	2	0.5
	Total puntos		3		1.75		2
	Lugar		1		2		2
¿Seleccionar?		Si		No		No	

Fuente: Elaboración propia.

Es posible reutilizar el controlador de la máquina ya que las entradas y salidas con las que cuenta son suficientes para las mejoras que se le realizarán a la máquina, es más fácil ya que cuenta con su propia pantalla, etc. Por lo tanto, no es necesario comprar uno nuevo, además, de ser necesario en el futuro, es posible ampliar los puertos mediante módulos, en caso de que se desee automatizar toda la línea de producción.

Para el Diseño del control automático, se contempla el diagrama de flujo con el que cuenta actualmente la máquina, se propone un nuevo diagrama de flujo y se indican las entradas y salidas requeridas para la programación. Este proceso se muestra en la Figura 8.35.

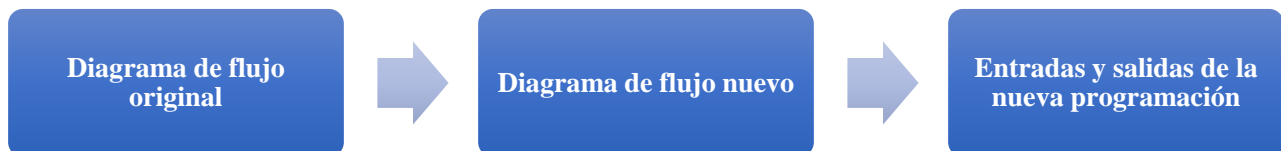


Figura 8.35. Etapas del Diseño del control automático. Fuente: Elaboración propia.

8.2.2 Diagrama de flujo original

Como se muestra en la Figura 8.36, el Diagrama de flujo original corresponde a la primer etapa a analizar del Diseño del control automático.



Figura 8.36. Etapa 1 del Diseño del control automático. Fuente: Elaboración propia.

Al trabajar con una máquina existente, es importante entender su funcionamiento y de este modo determinar la cantidad de entradas que utiliza, posibles áreas de mejora, así como el trabajo actual de la misma.

Para facilitar la explicación del control automático con el que cuenta la máquina, se procede a construir el diagrama de flujo de este, después de analizar la programación existente.

En la Figura 8.37 se muestra el diagrama de flujo de la programación que posee la máquina actualmente.

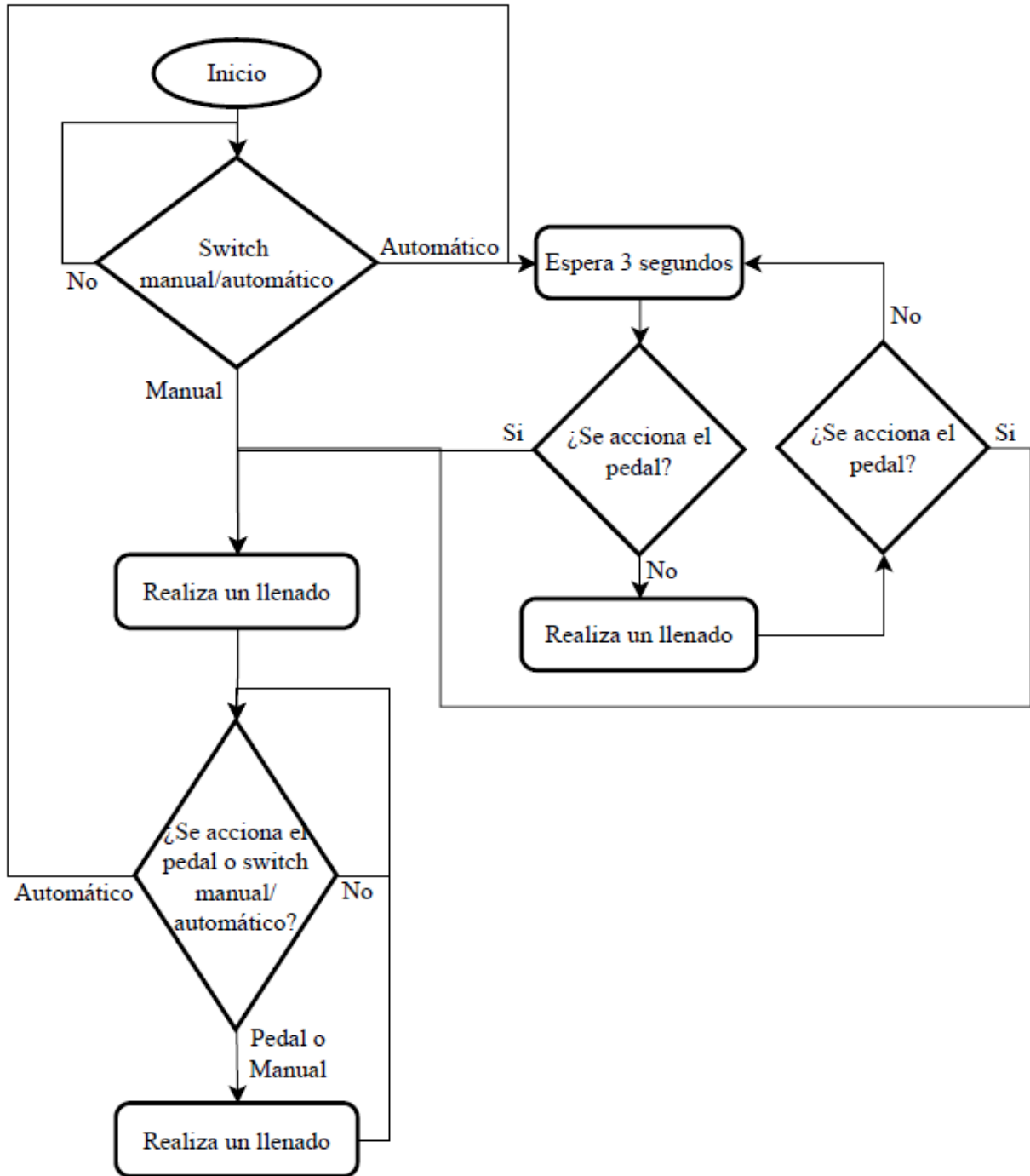


Figura 8.37. Diagrama de flujo de la programación actual de la máquina. Fuente: Elaboración propia.

Como se observa, en la Figura 8.37, la máquina cuenta con llenado manual y llenado automático. El llenado manual se acciona cada vez que se presione el pedal o bien, se accione el

switch en el modo manual. En el caso del llenado automático, este se acciona con el switch en el modo automático, este modo acciona el llenado de manera automática cada 3 segundos. Para realizar la transición de llenado manual a automático se debe accionar el switch en modo automático. Para realizar la transición de llenado automático a llenado manual, basta con accionar el switch en modo manual o bien, presionar el pedal.

Si bien la programación original es funcional, surge la necesidad de modificarla a raíz de las necesidades del cliente.

Para el cumplimiento de las necesidades 3, 16 y 17 expresadas por el cliente, es requerida la modificación de la programación del controlador, ya que, a diferencia de las demás necesidades relativas al control de la máquina, estas tres no son cumplidas por el programa actual de la máquina.

Necesidad 3: El sistema se detiene cuando se acaba el producto.

Necesidad 16: El sistema pausa el llenado automático por acción del operario.

Necesidad 17: El sistema reanuda el llenado automático por acción del operario.

8.2.3 Diagrama de flujo nuevo

Como se muestra en la Figura 8.38, el Diagrama de flujo nuevo corresponde a la segunda etapa a analizar del Diseño del control automático.



Figura 8.38. Etapa 2 del Diseño del control automático. Fuente: Elaboración propia.

Para satisfacer las necesidades mencionadas anteriormente, se crea la programación mostrada en la Figura 8.39.

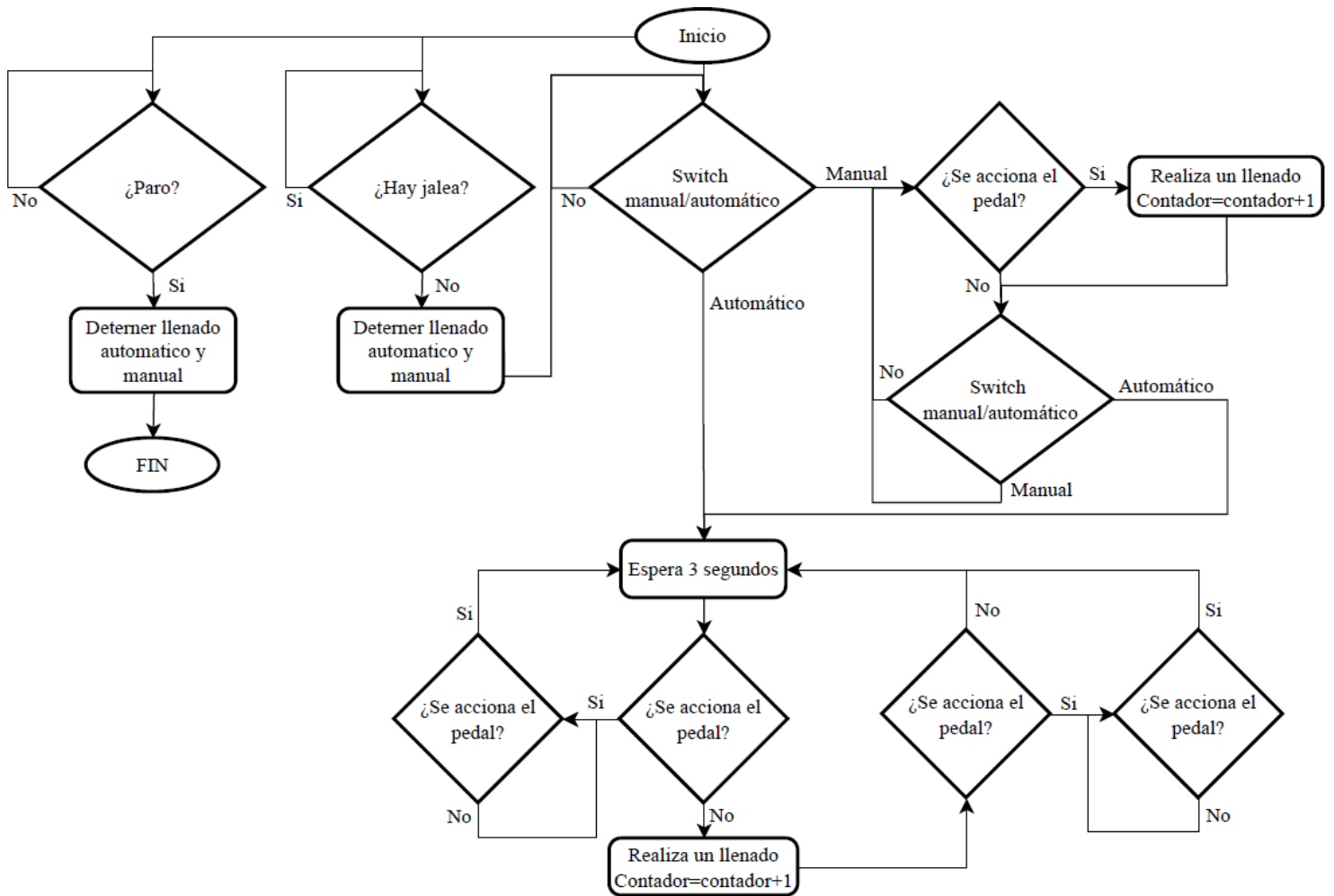


Figura 8.39. Diagrama de flujo de la nueva programación de la máquina. Fuente: Elaboración propia.

Como se observa en el diagrama de flujo nuevo, mostrado en la Figura 8.39, se agrega un botón de paro, el cual permitirá detener cualquier función de la máquina en cualquier momento.

También, se agrega el monitoreo del nivel de producto disponible para el llenado, de modo que permita detener la máquina en cuanto se detecte que se ha acabado la jalea del contenedor, esto es de suma importancia para cumplir la correcta dosificación en el llenado, ya que si la máquina queda sin producto y el pistón ingresa aire a los conductos, esto provocará errores de dosificado hasta que el aire atraviese todos los conductos hasta salir a la atmósfera por la boquilla, atrasando grandemente el llenado.

Luego, se agrega un contador a la máquina de modo que se tenga noción de la cantidad de cajas llenadas al finalizar o durante cada llenado, sin importar si se han llenado de forma manual o automáticamente.

No se ha agregado un botón de inicio ya que esta función se le ha asignado al switch, de modo que, no se iniciará ningún tipo de llenado, sin antes elegirlo mediante accionamiento del switch, el cual tendrá la función de botón de inicio, así como de cambiar del llenado automático al manual en cualquier momento de la operación.

Finalmente, se agrega la funcionalidad de pausar y des pausar el llenado automático al pedal, para que de este modo se pueda tomar una pausa durante la ejecución del llenado automático en caso de ser requerida.

8.2.4 Entradas y salidas de la nueva programación

En la Tabla 8.10 se muestran las entradas y salidas utilizadas en la nueva programación del controlador Zelio SR3 B101FU.

Tabla 8.10. Entradas y salidas utilizadas en el controlador.

Designación	Tipo	Descripción
I1	Entrada	Activación del Modo Manual (switch)
I2	Entrada	Activación del Modo Automático (switch)
I3	Entrada	Activación del final de carrera
I4	Entrada	Accionamiento del pedal
I5	Entrada	Sensor nivel de producto
Q1	Salida	Extensión de pistón

Fuente: Elaboración propia.

La programación del controlador se ha realizado en lenguaje escalera y puede ser consultada en el Anexo C. Programación.

Capítulo 9. Validación de la Propuesta de diseño

Para validar el sistema propuesto se procede a realizar pruebas que permitan determinar si la llenadora es capaz de aumentar la productividad en un 25% y si la propuesta permite disminuir el desperdicio de producto en un 25%. Este análisis se basa en [34].

Para las pruebas descritas a continuación se utiliza la máquina y los conductos de acero inoxidable. Con el fin de poder utilizar poca cantidad de jalea y reducir el desperdicio, se decide utilizar una tolva en lugar de más tubería, además, se reutiliza el producto para las pruebas. Puesto que la cantidad de jalea a utilizar es poca, rellenar la tolva no resulta complicado. En la Figura 9.1 y Figura 9.2 se muestra la configuración de la máquina durante las pruebas.

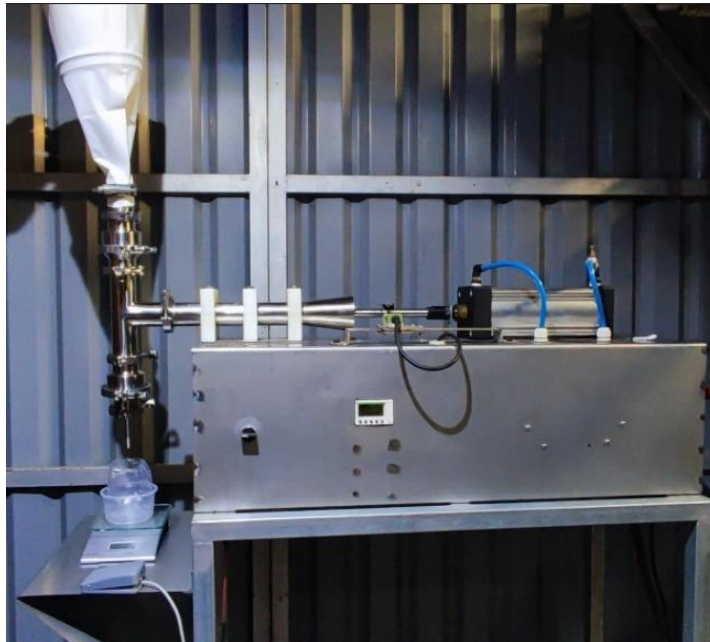


Figura 9.1. Llenadora durante las pruebas de validación. Fuente: Elaboración propia.



Figura 9.2. Tolva y conductos utilizados durante las pruebas de validación. Fuente:
Elaboración propia.

9.1 Prueba 1. Velocidad de llenado

En esta prueba se realizan mediciones del tiempo que tarda el dosificado para los diferentes empaques de la empresa.

9.1.1 Tamaño de muestra

Para determinar el tamaño de muestra que garantice la confiabilidad de los datos, es necesario calcularlo con la fórmula de la Ec. 9.1.

Se determina que la población es de tipo infinita ya que se desconoce el tamaño de la población, por otro lado, se decide elegir una confiabilidad del 90% y un error de estimación máximo aceptado de 15%, con lo que se obtiene:

$$n = \frac{1.645^2 \cdot 0.5 \cdot 0.5}{0.15^2} \quad (9.1)$$

$$n = 30.07 \quad (9.2)$$

Por lo tanto, es necesario realizar al menos 31 ejecuciones para cada presentación de empaque para que la media muestral sea representativa con un margen de error de 12% y confiabilidad de 90%.

9.1.2 Objetivo y parámetros de influencia

El objetivo de la prueba es medir la velocidad de llenado. Se considera que la velocidad del sistema se puede ver afectada por la presión de alimentación y la apertura de la válvula de control de flujo.

9.1.3 Métrica en estudio

La métrica que se está evaluando en la prueba corresponde al número 2 – Velocidad de dosificado. La cual posee un valor marginal mayor a 10 ml/s e idealmente debe ser mayor a 30 ml/s.

9.1.4 Descripción de la prueba

Para la prueba se llenan envases de 250 g y 500 g de jalea, los parámetros de influencia definidos se varían hasta obtener la configuración ideal que provea el mejor tiempo.

El tiempo considerado en las mediciones inicia desde que se acciona la máquina hasta que el pistón retrocede totalmente (su posición de origen), no se contempla el tiempo de sustitución de un envase lleno por uno vacío ya que esto no es un parámetro que dependa de la máquina. En la Figura 9.3 se muestra el llenado de un empaque de 500 g (334 ml).



Figura 9.3. Llenado de 500 g de jalea. Fuente: Elaboración propia.

9.1.5 Resultados

Durante la prueba se obtuvieron los resultados mostrados en la Tabla 9.1 y Tabla 9.2. En la Tabla 9.3 se muestra el tiempo y velocidad promedio de llenado obtenido para los diferentes empaques.

Tabla 9.1. Tiempo de llenado para empaques de 500 g.

Medición	Tiempo ($t \pm 0.01$) s	Medición	Tiempo ($t \pm 0.01$) s
1	6.41	17	6.45
2	6.35	18	5.90
3	6.30	19	6.49
4	6.45	20	5.89
5	6.37	21	6.50
6	6.42	22	6.42
7	6.41	23	6.49
8	6.48	24	6.50
9	6.50	25	6.60
10	6.51	26	6.62
11	6.55	27	6.59
12	6.54	28	6.41
13	6.52	29	6.45
14	6.49	30	6.50
15	6.48	31	6.70
16	6.50		
Promedio (s)		6.44	
Velocidad (ml/s)		51.82	

Fuente: Elaboración propia

Tabla 9.2. Tiempo de llenado para empaques de 250 g.

Medición	Tiempo (t±0.01) s	Medición	Tiempo (t±0.01) s
1	3.76	17	4.00
2	3.74	18	3.90
3	3.73	19	3.93
4	3.75	20	4.01
5	3.76	21	4.10
6	3.78	22	3.85
7	3.73	23	3.70
8	3.70	24	3.90
9	3.85	25	3.73
10	3.82	26	3.80
11	3.84	27	4.02
12	3.76	28	3.77
13	3.75	29	3.68
14	3.80	30	3.77
15	3.81	31	3.68
16	3.76		
Promedio (s)		3.81	
Velocidad (ml/s)		43.81	

Fuente: Elaboración propia

En la sección Velocidad y tiempo de producción esperados, se definió que para aumentar la productividad en un 25%, la velocidad objetivo corresponde a 12.34 ml/s y el tiempo objetivo es de 27.07 s.

Tal como se muestra en la Tabla 9.3, estos valores de tiempo y velocidad se cumplen e incluso representan un aumento en la productividad del 425.07% para bolsas de 500 g y de 989.38% para las de 250 g. El aumento de productividad promedio alcanzado para la empresa es de 707.23%.

Tal aumento en productividad se debe a la gran diferencia que existe entre los tiempos de llenado manual y automático para cada presentación, mostrados en la Tabla 9.3.

Es importante aclarar que ambos tiempos de llenado son medidos de la misma forma:

- Se utiliza el mismo cronómetro.
- El inicio del tiempo se toma desde que:
 - En el Llenado Manual: Se ingresa el cucharón en el contenedor de jalea.
 - En el Llenado Automático: Se acciona el llenado en la máquina (Mediante pedal).
- El tiempo finaliza en el momento en que:
 - En el Llenado Manual: Se alcanza el peso deseado a dosificar.
 - En el Llenado Automático: El pistón retrocede completamente a su posición de origen.
- En ningún tipo de llenado se considera el tiempo entre llenados.

Respecto a la velocidad de dosificado, en la sección Velocidad y tiempo de producción esperados, el objetivo definido fue de 30 ml/s para ambos empaques de jalea, es por esto se afirma que el diseño propuesto cumple la métrica 2 de manera satisfactoria.

Tabla 9.3. Aumento de productividad obtenida para cada empaque al utilizar la máquina.

	Empaques de 500 g		Empaques de 250 g	
	Velocidad llenado (ml/s)	Tiempo llenado (t±0.01) s	Velocidad llenado (ml/s)	Tiempo llenado (t±0.01) s
Sin máquina	9.87	33.84	4.02	41.53
Con máquina	51.82	6.44	43.81	3.81
Aumento	425.07%		989.38%	

Fuente: Elaboración propia

9.2 Prueba 2. Precisión de dosificado

En esta prueba se realizan mediciones de los gramos dosificados con la máquina, para los diferentes empaques de la empresa.

9.2.1 Tamaño de muestra

Se desea la misma confiabilidad y un error de estimación máximo aceptado de 15%, con lo que se obtiene el mismo tamaño de muestra utilizado para la prueba anterior (30.07), por lo tanto, se deciden realizar 31 repeticiones.

9.2.2 Objetivo y parámetros de influencia

El objetivo de la prueba es determinar la precisión de llenado. Se considera que esta puede verse afectada por los siguientes parámetros: presión de alimentación y ubicación del final de carrera.

9.2.3 Métrica en estudio

La métrica que se está evaluando en esta prueba corresponde a la métrica número 1 – Precisión de dosificado. La cual posee un valor marginal de 2% al 5% e idealmente debe ser de 0% a 2%.

9.2.4 Descripción de la prueba

Para la prueba se llenan envases de 250 g y 500 g de jalea, los parámetros de influencia definidos se varían durante las mediciones para cumplir con los valores objetivo. Para cada llenado se anotan los gramos dosificados. En la Figura 9.4 se muestra el llenado de un empaque de 250 g (167 ml).



Figura 9.4. Llenado de 250 g de jalea. Fuente: Elaboración propia.

9.2.5 Resultados

Durante la prueba se obtuvieron los resultados mostrados en la Tabla 9.4 y Tabla 9.5.

Tabla 9.4. Masa dosificada para empaques de 500 g.

Medición	Masa (m±1) g	Medición	Masa (m±1) g
1	501	17	512
2	505	18	502
3	506	19	515
4	510	20	508
5	513	21	501
6	511	22	509
7	514	23	508
8	500	24	511
9	500	25	502
10	520	26	506
11	512	27	508
12	505	28	507
13	509	29	509
14	502	30	511
15	510	31	510
16	511		
Promedio (g)		508	
Desv. Est. (g)		4.82	
Error max. 2% (g)		10	

Fuente: Elaboración propia

Tabla 9.5. Masa dosificada para empaques de 250 g.

Medición	Masa (m±1) g	Medición	Masa (m±1) g
1	254	17	257
2	252	18	254
3	256	19	253
4	255	20	258
5	250	21	259
6	251	22	250
7	253	23	251
8	252	24	251
9	256	25	256
10	250	26	258
11	250	27	254
12	254	28	253
13	252	29	251
14	255	30	255
15	251	31	256
16	250		
Promedio (g)		253.45	
Desv. Est. (g)		2.68	
Error max. 2% (g)		5	

Fuente: Elaboración propia

El error de dosificación para empaques de 250 g es de 1.38%, para los de 500 g es de 1.6%, es decir, el error de dosificación promedio es de 1.49 %

La precisión de dosificado (métrica 1) es menor al 2% para ambos empaques, por lo que es posible decir que el diseño propuesto cumple el valor ideal de la métrica 2 de manera satisfactoria.

9.3 Validación de Inocuidad

Puesto que la máquina pertenece al sector alimenticio, la misma debe de cumplir con las normas sanitarias aplicables a Costa Rica, mencionadas en el Marco Teórico.

En la propuesta de diseño, se sustituye la manguera de 3 m que no cumplía con las normas sanitarias y que efectivamente se demostró que contaminada el producto, por un nuevo diseño de tuberías y manguera cortas, que facilita las buenas prácticas de higiene tal como lo especifica la norma INTE A1:2020. Además de utilizar materiales inocuos y aptos para uso alimentario en todos los conductos de ingreso del producto.

Por otro lado, en el caso del sistema de aire comprimido, se incluye una unidad de preparación de aire, la cual se encarga de filtrar contaminantes que puedan representar una amenaza para la inocuidad y la idoneidad de los alimentos, además, se recomienda el uso de aceite de grado alimenticio para lubricar todos los componentes neumáticos y con esto mantenerse en buen estado sin correr el riesgo de contaminar al producto.

9.4 Validación de disminución de desperdicio de producto

Puesto que la máquina anteriormente dosificaba un promedio de 272 g y 517 g, es decir, un promedio de 19.5 g de exceso, a continuación, se calcula a cuanto corresponde en gramos, una disminución del 25% del desperdicio.

$$desperdicio_{max} = 19.5 - 19.5 * 25\% \quad (9.3)$$

$$desperdicio_{max} = 14.625 \text{ g} \quad (9.4)$$

Con las pruebas, se demostró que al utilizar la máquina se dosifica un promedio de 253.45 g y 508 g, es decir, un promedio de 5.73 g de exceso equivalente una disminución del 70.62% del desperdicio. Puesto que el desperdicio actual es menor al desperdicio máximo esperado, es posible concluir que se cumple con el objetivo de reducir en un 25% el desperdicio de producto.

Capítulo 10. Análisis económico

A continuación, se presentan los costos de materiales necesarios para la mejora de la maquina llenadora de jalea, estos son utilizados para evaluar la rentabilidad del proyecto y mediante los indicadores TIR y VAN, determinar si dicha mejora es viable.

10.1 Costos

En la Tabla 10.1 se presentan los materiales necesarios para la mejora de la llenadora de jalea, así como la cantidad de unidades requeridas y su respectivo costo, en la Tabla 10.2 se presenta el costo cotizado para la soldadura de grado alimenticio requerida, los precios de ambas tablas han sido obtenidos bajo cotizaciones de diferentes proveedores dentro de Costa Rica.

Tabla 10.1. Costo de materiales.

Materiales	Cantidad	Precio unitario	Precio + iva	Precio
Tubo Sanitario inox 304 2" ASTM 27,5 cm	3	¢3,010.20	¢3,401.52	¢10,204.56
Tubo Sanitario inox 304 2" ASTM 13 cm	1	¢1,423.00	¢1,607.99	¢1,607.99
Codo Clamp 90° 2"	1	¢13,275.00	¢15,000.75	¢15,000.75
Empaques teflon clamp	3	¢1,230.00	¢1,389.90	¢4,169.70
Abrazaderas Clamp (Gazas)	3	¢4,455.00	¢5,034.15	¢15,102.45
Extremos Clamp (corto)	6	¢2,405.00	¢2,717.65	¢16,305.90
Manguera grado sanitario	1	¢21,000.00	¢23,730.00	¢23,730.00
Soporte tipo omega para tubería inox	1	¢3,375.00	¢3,813.75	¢3,813.75
Tubo para soporte tipo omega	1	¢21,980.00	¢24,837.40	¢24,837.40
Sensor de proximidad	1	¢15,000.00	¢16,950.00	¢16,950.00
Compresor	1	¢338,520.00	¢382,527.60	¢382,527.60
Botón pare	1	¢33,035.00	¢37,329.55	¢37,329.55
Total				¢551,579.66

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 10.2. Costos Mano de Obra.

Tipo de servicio	Cantidad	Precio + iva	Precio
Diseño de mejoras	200 h	¢2,468.00	¢493,600.00
Soldadura grado alimenticio extremos Clamp	8	¢15,000.00	¢120,000.00
Soldadura tubo soporte tipo Omega	1	¢5,000.00	¢5,000.00
Total			¢618,600.00

Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 10.3 se presenta el coste total de la inversión necesaria para la mejora de la maquina llenadora de Jalea además de un rubro dedicado para imprevistos que puedan darse.

Tabla 10.3. Coste de inversión para mejora.

Inversión	
Costo de pruebas	¢71,303.96
Oficina y Licencia programas	¢15,265.07
Prueba microbiologica	¢67,494.90
Costo materiales	¢551,579.66
Costo Mano de obra	¢618,600.00
Total	¢1,324,243.58
Rubro de imprevistos (10%)	¢132,424.36
Total de inversion	¢1,456,667.94

Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 10.4 se presenta los egresos de la producción de jalea en el año 2021, para la etapa de llenado se necesitaba de dos personas, uno que sostuviera la bolsa mientras el otro dispensaba la jalea dentro de la misma.

En la Tabla 10.5 bajo el supuesto de que se buscaba vender la misma cantidad de bolsas de dicho año, se muestran los mismos egresos si se hubiera dado uso de la máquina de llenado, de esta forma solo se necesita de una persona para la etapa de llenado.

Tabla 10.4. Egresos en producción de Jalea del año 2021.

Tipo de Egreso	Masa de Bolsa (g)	Horas	Precio
Horas Empaque	250	49.1	€167,031.25
	500	116.7	€396,512.31
Horas Cocina		361.8	€614,790.73
Horas Recolección		69.0	€117,247.38
Horas Lavado		197.0	€334,749.76
Total, egresos mano de obra			€1,630,331.44

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 10.5. Egresos en producción de Jalea del año 2021 bajo supuesto de utilización de máquina de llenado.

Tipo de Egreso	Masa de Bolsa (g)	Horas	Precio
Horas Empaque	250	4.9	€8,302.44
	500	18.0	€30,523.97
Horas Cocina		361.8	€614,790.73
Horas Recolección		69.0	€117,247.38
Horas Lavado		197.0	€334,749.76
Total, egresos mano de obra			€1,105,614.27

Fuente: Elaboración propia.

Debido a que con el uso de la maquina solo se requiere de una persona para la etapa de llenado y además el tiempo necesario para alcanzar la misma producción del 2021 se ve disminuido, se da una reducción en los egresos o pérdidas de €524,717.17 con respecto al llenado manual, esto último representa una reducción del 32,2% de los gastos anuales solo con la utilización de la máquina, manteniendo la misma producción.

10.2 Análisis de rentabilidad

A continuación, se presentan los cálculos para los indicadores financieros de VAN y TIR. En la Tabla 10.6 se presentan los flujos de operaciones de los siguientes 9 años que corresponde al tiempo restante de años vida útil según los valores de devaluación presentados por el Ministerio de Hacienda para maquinas llenadoras.

Tabla 10.6. Flujos de operaciones de los siguientes 9 años.

Años	Inversion inicial	Flujo de ingresos	Flujo de egresos	Flujo de efectivo neto	Flujo Neto Actualizado	Tasa de interés
						13%
						FNA Acumulado
0	-C\$1,456,667.94			-C\$1,456,667.94		
1		C\$14,034,150.00	C\$6,050,220.26	C\$7,983,929.74	C\$7,065,424.55	C\$7,065,424.55
2		C\$14,735,775.00	C\$6,423,824.90	C\$8,311,950.10	C\$6,626,235.73	C\$13,691,660.28
3		C\$15,472,563.75	C\$6,500,811.73	C\$8,971,752.02	C\$6,385,915.88	C\$20,077,576.15
4		C\$17,828,753.25	C\$6,963,709.60	C\$10,865,043.65	C\$6,904,931.66	C\$26,982,507.82
5		C\$19,611,628.58	C\$7,313,967.63	C\$12,297,660.94	C\$6,978,023.08	C\$33,960,530.90
6		C\$21,572,791.43	C\$7,699,251.47	C\$13,873,539.96	C\$7,028,767.11	C\$40,989,298.01
7		C\$23,730,070.58	C\$8,123,063.69	C\$15,607,006.89	C\$7,059,817.32	C\$48,049,115.33
8		C\$26,103,077.63	C\$8,589,257.13	C\$17,513,820.50	C\$7,073,538.36	C\$55,122,653.69
9		C\$28,713,385.40	C\$9,102,069.92	C\$19,611,315.48	C\$7,072,036.96	C\$62,194,690.65

Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 10.7 se presenta el VAN, este indicador evalúa el valor y costo de una inversión inicial y lo expresa en la ganancia neta a valor actual que se genera durante el tiempo que dure el proyecto. En él se calculan los valores actuales de los flujos netos acumulados y se le resta la inversión inicial. Si el resultado de este valor es positivo significa que el proyecto es rentable. [39]

Por otro lado, la tasa interna de retorno (TIR) corresponde a la tasa promedio de rendimiento que genera el proyecto sobre su inversión inicial, el umbral para aceptar o no el valor calculado del TIR lo elige la empresa considerando cuanto es la tasa mínima de rentabilidad exigida a la

inversión. En el caso de la empresa Jaleas AltoBarrantes, se desea obtener una tasa mínima de rentabilidad del 10%.

Tabla 10.7. Indicadores financieros.

Indicador	Valor	Umbral	Aceptado
VAN	€60,738,022.71	> 0	Si
TIR	553%	> 10%	Si

Fuente: Elaboración propia.

Capítulo 11. Conclusiones y Recomendaciones

11.1 Conclusiones

El diagnóstico de la máquina de llenado con la que cuenta la empresa permitió la determinación de las causas de falla en la dosificación, así como determinar la injerencia de la máquina en la caducidad temprana de la jalea, lo cual permitió delimitar el problema y definir el enfoque del proyecto que permitió finalmente dar solución al problema.

Fue posible el diseño de las modificaciones del sistema mecánico de alimentación y dosificación de jalea preciso, lo que permitió disminuir el desperdicio de producto y reducir las pérdidas actuales en más de un 25%, llegando a disminuir el desperdicio en un promedio del 70.62% y las pérdidas en un promedio del 32.2%, además de asegurar un error de dosificación menor al 2%, llegando a ser en promedio de 1.49%.

El diseño del sistema de control para la alimentación y dosificación precisa de jalea fue posible realizarlo y validar su funcionamiento.

Fue posible plantear las pruebas de concepto necesarias para la verificación y validación del funcionamiento del sistema propuesto, así como validar el funcionamiento mediante pruebas que permitieron comprobar que la máquina permite aumentar la productividad de la empresa en más de un 25%, llegando a aumentar la productividad en un promedio de 707.23%.

El análisis económico de la propuesta presentada mediante los indicadores TIR y VAN permitió validar la viabilidad del proyecto, se obtuvo que el VAN es de \$60,738,022.71 y el TIR de 553%.

El diseño de conductos de ingreso de jalea previene la contaminación del producto y por tanto, su caducidad anticipada.

El diseño de conductos de ingreso de jalea cumple con lo establecido en la norma INTE A1:2020.

La propuesta del sistema neumático cumple con requerimientos de calidad de aire como lo establece la norma INTE A1:2020 y INTE/ISO 22004:2015.

11.2 Recomendaciones

Se recomienda la utilización de aceite de grado alimenticio para el sistema neumático, ya que aunque el aire no entre en contacto directo con el producto, la norma así lo recomienda.

Dar capacitaciones a los empleados para el manejo de la máquina, así como el ensamblaje y desensamble de la misma.

Se recomienda no remover el contenedor de jalea hasta que se haya finalizado el proceso de llenado.

Es recomendable atacar un único problema en los proyectos, esto para facilitar la explicación y comprensión del proyecto en cuestión.

Realizar la planeación de pruebas de modo que se pueda ahorrar tiempo y recursos en la ejecución de 2 o más durante el mismo día.

Capítulo 12. Referencias Bibliográficas

- [1] K. Myer, Handbook of Farm, Dairy and Food Machinery Engineering, 3ra ed., Nueva York: Elsevier, 2019.
- [2] S. Basu, Plant Flow Measurement and Control Handbook - Fluid, Solid, Slurry and Multiphase Flow, Elsevier, 2019.
- [3] P. J. Fellows, Food Processing Technology - Principles and Practice, 4ta ed., Oxfordshire: Elsevier, 2017.
- [4] INTECO, INTE/ISO 22000:2018 Sistemas de gestión de la inocuidad de los alimentos — Requisitos para cualquier organización en la cadena alimentaria, 2da ed., INTECO, Ed., INTECO, 2018.
- [5] INTECO, «INTE/ISO 22000:2018,» [En línea]. Available: <https://www.inteco.org/shop/inte-iso-22000-2018-sistemas-de-gestion-de-la-inocuidad-de-los-alimentos-requisitos-para-cualquier-organizacion-en-la-cadena-alimentaria-2985?search=alimentos#attr=>.
- [6] INTECO, "INTE/ISO 22004:2015," [Online]. Available: <https://www.inteco.org/shop/inte-iso-22004-2015-sistemas-de-gestion-de-la-inocuidad-de-los-alimentos-orientacion-para-la-aplicacion-de-la-norma-inte-iso-22000-140?search=alimentos#attr=>.
- [7] INTECO, INTE/ISO 22004:2015 Sistemas de gestión de la inocuidad de los alimentos. Orientación para la aplicación de la Norma INTE/ISO 22000., 1era ed., INTECO, Ed., INTECO, 2015.
- [8] INTECO, "INTE A1:2020," [Online]. Available: <https://www.inteco.org/shop/inte-a1-2020-principios-generales-de-higiene-de-los-alimentos-buenas-practicas-de-manufactura-bpm-8110?product=8110#attr=>.
- [9] INTECO, INTE A1:2020 Principios generales de higiene de los alimentos: buenas prácticas de manufactura (BPM)., 2da ed., INTECO, Ed., INTECO, 2020.
- [10] Y. Cengel and J. Cimbala, "Mecánica de fluidos: fundamentos y aplicaciones," McGraw-Hill, Ciudad de México, 2018.
- [11] R. L. Mott and J. A. Untener, "Mecánica de fluidos," Pearson Educación, 2015.
- [12] Airmatic, "Biotecnología farmacéutica y Alimenticia," [Online]. Available: <http://www.airmaticltd.com/assets/12-linea-sanitaria.pdf>.
- [13] Kuriyama, "Mangueras Industriales Termoplásticas," 2005. [Online]. Available: https://0201.nccdn.net/1_2/000/000/101/288/MANGUERAS-INDUSTRIALES-TERMOPLASTICAS-1.pdf.

- [14] Parker, "Tie Rod Pneumatic Cylinders," 14 Setiembre 2020. [Online]. Available: https://www.parker.com/Literature/Literature%20Files/pneumatic/Literature/Actuator-Cylinder/0900/0900P_Tie_Rod.pdf.
- [15] Chint, "Travel Switches," [Online]. Available: https://chint.co.uk/image_dump/YBLX%20Datasheet.pdf.
- [16] Schneider, "Ficha técnica del producto SR3B101FU modular smart relay Zelio Logic - 10 I O -100..240 V AC - clock - display," [Online]. Available: <https://www.se.com/mx/es/product/download-pdf/SR3B101FU>.
- [17] Amazon, "Central Pneumatic compresor de aire vertical 2,5 caballos de fuerza, 21 galones, 125 PSI de hierro fundido".
- [18] Micro, "Unidades FRL," [Online]. Available: <https://www.distritec.com.ar/wp-content/uploads/2020/10/2020-unidades-frl.pdf>.
- [19] J. L. Crespo Mariño, "Módulo 1. Sesión 2: "Fase 0" (o de problema percibido) y determinación de necesidades," Cartago, 2020.
- [20] M. E. Ramírez Guzmán, "DETERMINACIÓN DEL TAMAÑO DE LA MUESTRA PARA REALIZAR ANÁLISIS DE LABORATORIO DE ALIMENTOS," Guadalajara.
- [21] Elika Fundación Vasca para la Seguridad Agroalimentaria, "MATERIALES EN CONTACTO CON ALIMENTOS," 2013.
- [22] K. T. Ulrich y S. D. Eppinger, Diseño y desarrollo de productos, 5ta ed., D.F.: McGraw-Hill, 2013.
- [23] S. M. Barrantes Murillo and H. A. Guillen Vargas, "Proyecto Final - Sistema de transmisión inalámbrica de energía," 2021.
- [24] J. L. Crespo Mariño, "Módulo 1. Sesión 3.1: Especificaciones del producto," Cartago, 2020.
- [25] J. L. Crespo Mariño, "Módulo 1. Sesión 4.1: Conceptualización del Proceso de diseño," Cartago, 2020.
- [26] J. L. Crespo Mariño, "Módulo 1. Sesión 6: Selección y evaluación de conceptos," Cartago, 2020.
- [27] VIREL, "Fabrica Colombiana de equipos para envasar desde 1990," 2020. [Online]. Available: <https://www.virel.com/llenadoras/#lvn-07>.
- [28] Rinou, "Wenzhou Rinou Packing Machinery Co., Ltd.," [Online]. Available: <http://www.packingmachinechina.es/1c-jam-filling-1.html>.

- [29] Rinou, "Wenzhou Rinou Packing Machinery Co., Ltd.," [Online]. Available: <http://www.packingmachinechina.es/1c-linear-filling-3.html>.
- [30] Novamart Solution, "Novamart Solution - Maquinaria de empaque," 2017. [Online]. Available: http://www.novamart.co.cr/opencart/index.php?route=product/product&path=59_89_91&product_id=136.
- [31] CW Maquinaria, "CW Maquinaria," 2020. [Online]. Available: http://cwmaquinaria.com/catalog/product_info.php?cPath=48&products_id=22&osCsid=th3jp9lung3agf71j4v34kmpc4.
- [32] CETRO Maquinas, "CETRO Maquinas," [Online]. Available: <https://www.cetro.com.br/embasadora-de-produtos-pastosos-100-1000ml/p>.
- [33] Parker, "Aire comprimido de alta calidad, desde su generación a su aplicación," Gateshead, 2012.
- [34] C. D. Sánchez, "Diseño de un sistema de llenado automático para fluidos líquidos y viscosos para la empresa Cosmético Yambal S.A.," Cartago, 2021.
- [35] I. Motion & Flow Control Products, "Parker Cylinder Tie Rod Supports, Stroke Data & Adjusters".
- [36] Sofraser, "La viscosidad dinámica".
- [37] Direct Industry by VirtualExpo group, "Qué compresor de aire elegir".
- [38] HALLITE, "HALLITE FLUID POWER SEAL CATALOG".
- [39] D. Mora Díaz and A. Ugalde Rivera, "Propuesta de Modelo de Aplicaciones Prácticas de la Curva de Rendimiento Soberana para la Toma de Decisiones de Inversión Financiera," San José, 2017.
- [40] INTECO, Principios generales de higiene de los alimentos: buenas prácticas de manufactura (BPM)., 2da ed., INTECO, Ed., INTECO, 2020.

Anexo A. Prueba microbiológica.



INFORME DE ENSAYO



Nº de Referencia:	A-22/010127	Registrada en:	AGQ Lambda	Cliente (*):	SHAZLYN MELISSA BARRANTES MURILLO
Análisis:	CR02-00004153-1	Centro Análisis:	AGQ Lambda	Domicilio (*):	ALAJUELA, SAN RAMÓN, SANTIAGO
Tipo Muestra:	AGUA	Fecha Recepción:	25/01/2022	Contrato:	QMT-LA220100317
Fecha Inicio:	27/01/2022	Fecha Fin:	31/01/2022	Cliente 3º(*):	---
Descripción(*):	Muestra de manguera				

Fecha/Hora Muestreo:	25/01/2022	Muestreado por:	Cliente (*)
----------------------	------------	-----------------	-------------

RESULTADOS ANALITICOS

Parámetro	Resultado	Unidades	Incert	CMA	PNT	Lim Cuantif/ Detec (#)
Microbiología						
* Clostridium Sulfito Reductores	6,00	UFC/ mL	-		BAM Cap 16	1,00 UFC/ mL
Coliformes Fecales	Presencia	P-A/100 ml	-		IT-341 SM 9223 Ed 23 (Collert-18 / Colisure)	0,00 P-A/100 ml
Coliformes Totales	6,20 x 10 ¹	NMP/100 mL	±3,10		IT-341 SM 9223 Ed 23 (Collert-18 / Colisure)	1,00 NMP/100 mL
* Pseudomonas aeruginosa	< 1,00	UFC/ 100 mL	-		SM 9213 E. Ed 23	1,00 UFC/ 100 mL
* Recuento Anaerobio Total	6,50 x 10 ¹	UFC/ 100 mL	-		SM 9215 D Ed 23	1,00 UFC/ 100 mL

Nota: Los Resultados de este informe solo afectan a la muestra tal como es recibida en el laboratorio. Queda prohibida la reproducción parcial de este informe sin la aprobación por escrito del laboratorio. Las incertidumbres de los parámetros acreditados están calculadas y a disposición del cliente. AGQ no se hace responsable de la información proporcionada por el cliente, asociada a la toma de muestras y a otros datos descriptivos, marcados con (*). A: Ensayo subcontratado y acreditado. N: Ensayo subcontratado y no acreditado. RE: Recuento en placa estimado. La Incertidumbre aplicada al resultado no aplica para valores menores al Límite de Cuantificación (LC). La Incert Exp (U) ha sido reportada con un Factor de Cobertura k= 2, para un nivel de confianza aprox del 95%.

(*) Parámetro no Acreditado por ECA

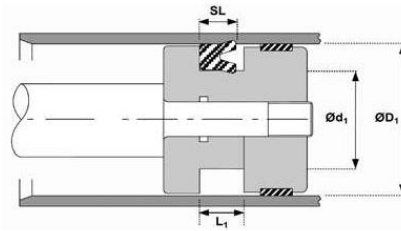
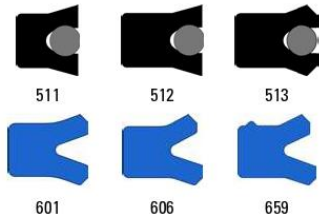
Marianela Arrieta González
MQC 1992

FECHA EMISIÓN: 02/02/2022

OBSERVACIONES (*):
Atención: Shazlyn Barrantes Murillo

Figura A.1. Informe de prueba microbiológica de la manguera.

Anexo B. Sellos HALLITE.



NOMINAL					
TYPE	ØD ₁	Ød ₁	SL	L ₁	PART No.
511	1.625	0.875	0.375	0.413	8933210
511	1.625	1.000	0.313	0.344	8806910
513	1.625	1.000	0.375	0.413	8828310
512	1.625	1.000	0.500	0.550	8825310
513	1.625	1.000	0.500	0.550	8838010
511	1.625	1.125	0.250	0.275	8807010
513	1.625	1.125	0.250	0.275	8804910
512	1.625	1.125	0.375	0.413	8847610
513	1.625	1.125	0.375	0.413	8856110
511	1.625	1.250	0.188	0.207	8802310
513	1.625	1.250	0.188	0.207	8925610
513	1.625	1.250	0.250	0.275	8860610
512	1.625	1.250	0.313	0.344	8821910
513	1.625	1.250	0.313	0.344	8834810
513	1.625	1.250	0.375	0.413	8860710
511	1.625	1.375	0.125	0.138	8802410
513	1.625	1.375	0.125	0.138	8926210
513	1.625	1.375	0.188	0.207	8860310
512	1.625	1.375	0.250	0.275	8822110
513	1.625	1.375	0.250	0.275	8834910
511	1.688	1.188	0.250	0.275	8921210
513	1.688	1.313	0.313	0.344	8925910
511	1.688	1.375	0.156	0.172	8813910
513	1.688	1.375	0.156	0.172	8926410
513	1.688	1.438	0.125	0.138	8926510
513	1.688	1.438	0.250	0.275	8849010
511	1.750	1.000	0.375	0.413	8819110
511	1.750	1.125	0.313	0.344	8807110
513	1.750	1.125	0.313	0.344	8925310
513	1.750	1.125	0.500	0.550	8879810
511	1.750	1.250	0.250	0.275	8807210
513	1.750	1.250	0.250	0.275	8925710
601	1.750	1.250	0.250	0.275	4502701
512	1.750	1.250	0.375	0.413	8825410
513	1.750	1.250	0.375	0.413	8838110
601	1.750	1.250	0.375	0.413	4107001
659	1.750	1.250	0.375	0.413	4528600
511	1.750	1.375	0.188	0.207	8802510
513	1.750	1.375	0.188	0.207	8926110

NOMINAL					
TYPE	ØD ₁	Ød ₁	SL	L ₁	PART No.
513	1.750	1.375	0.250	0.275	8844710
512	1.750	1.375	0.313	0.344	8822210
513	1.750	1.375	0.313	0.344	8835010
512	1.750	1.375	0.375	0.413	8870710
513	1.750	1.375	0.375	0.413	8835110
601	1.750	1.375	0.375	0.413	4353400
511	1.750	1.500	0.125	0.138	8802610
513	1.750	1.500	0.125	0.138	8926610
512	1.750	1.500	0.250	0.275	8822310
513	1.750	1.500	0.250	0.275	8835210
606	1.750	1.500	0.250	0.275	4769800
511	1.813	1.188	0.313	0.344	8933010
513	1.813	1.313	0.375	0.413	8902610
511	1.875	1.125	0.375	0.413	8921110
511	1.875	1.250	0.313	0.344	8870010
513	1.875	1.250	0.313	0.344	8809810
513	1.875	1.250	0.500	0.550	8838210
511	1.875	1.375	0.250	0.275	8807310
513	1.875	1.375	0.250	0.275	8926310
512	1.875	1.375	0.375	0.413	8825610
513	1.875	1.375	0.375	0.413	8878610
511	1.875	1.500	0.188	0.207	8802710
513	1.875	1.500	0.188	0.207	8851510
513	1.875	1.500	0.250	0.275	8835310
513	1.875	1.500	0.313	0.344	8849710
512	1.875	1.500	0.375	0.413	8822510
513	1.875	1.500	0.375	0.413	8835410
513	1.875	1.500	0.406	0.447	8848110
511	1.875	1.625	0.125	0.138	8802810
513	1.875	1.625	0.125	0.138	8926910
513	1.875	1.625	0.188	0.207	8849110
512	1.875	1.625	0.250	0.275	8870610
513	1.875	1.625	0.250	0.275	8873110
511	2.000	1.250	0.375	0.413	8814310
513	2.000	1.250	0.375	0.413	8925810
513	2.000	1.250	0.500	0.550	8842010
601	2.000	1.375	0.266	0.312	4236201
511	2.000	1.375	0.313	0.344	8807410
513	2.000	1.375	0.313	0.344	8825110

Figura B.1. Especificaciones de sellos de pistón. Fuente: [38]

Anexo C. Programación

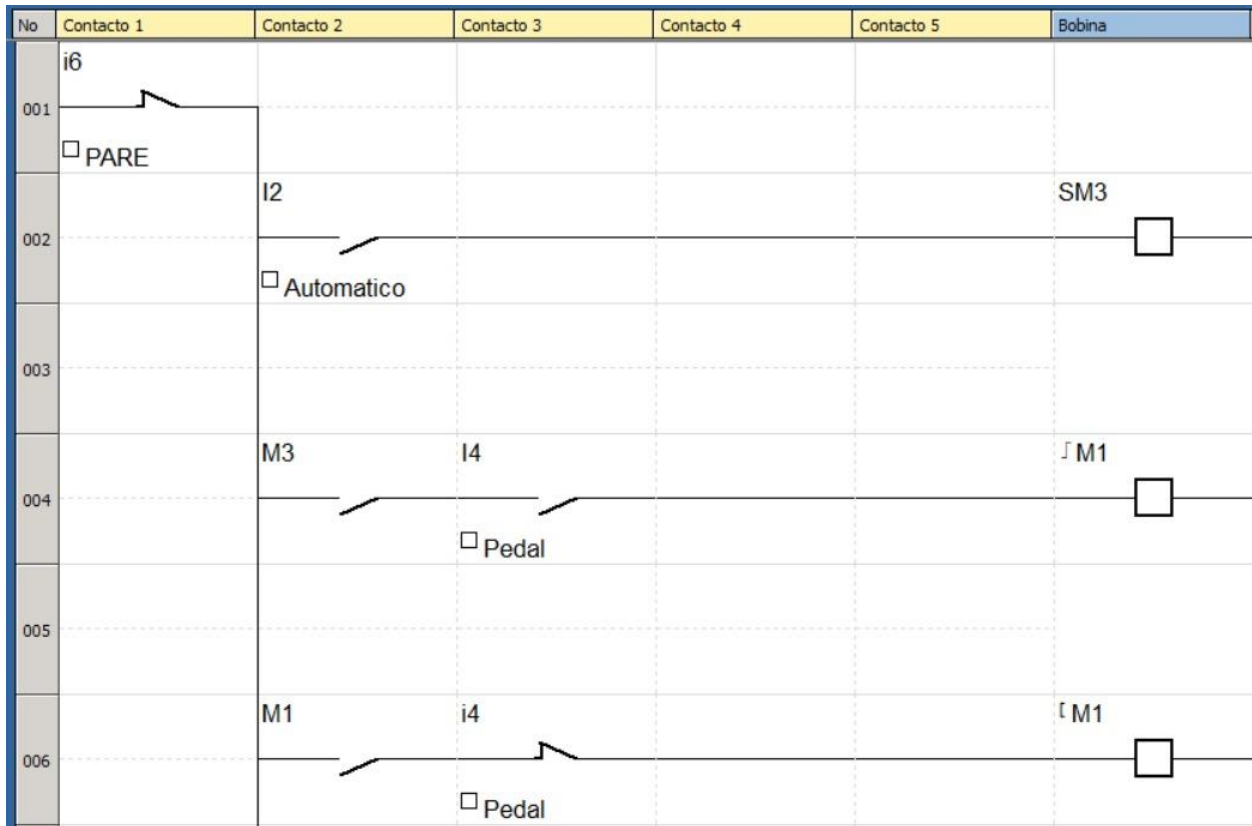


Figura C.1. Programación 1 del controlador Zelio SRU B101FU. Fuente: Elaboración propia.

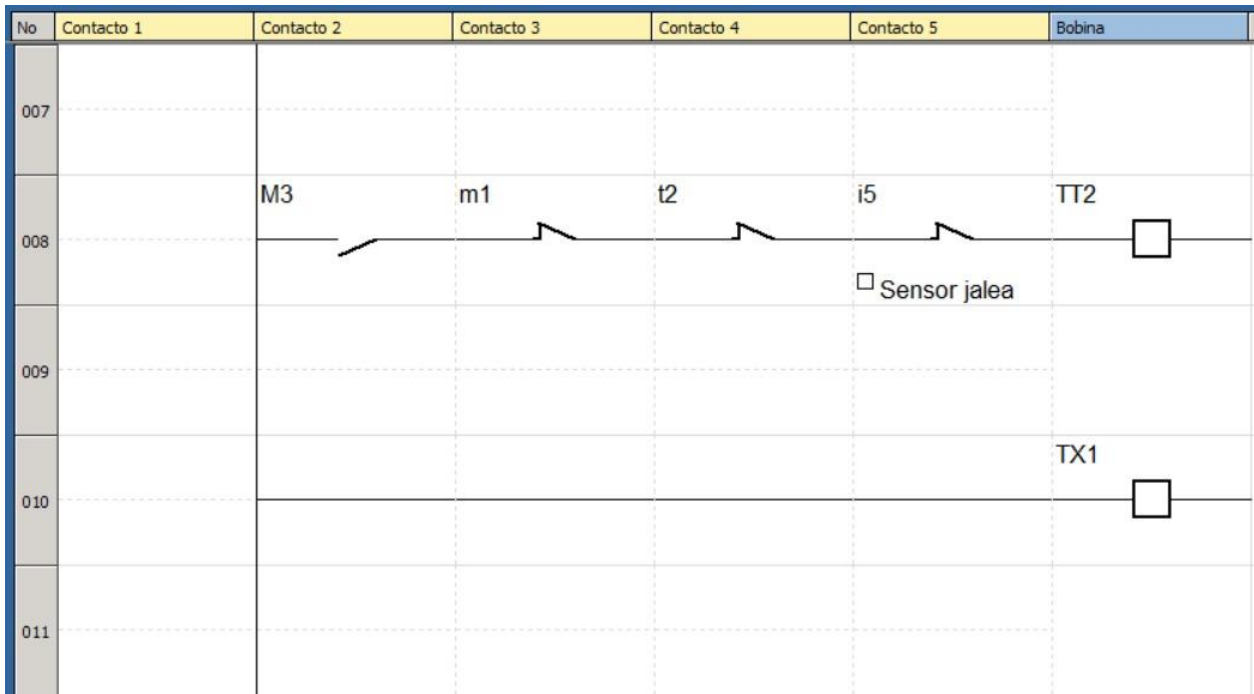


Figura C.2. Programación 2 del controlador Zelio SRU B101FU. Fuente: Elaboración propia.

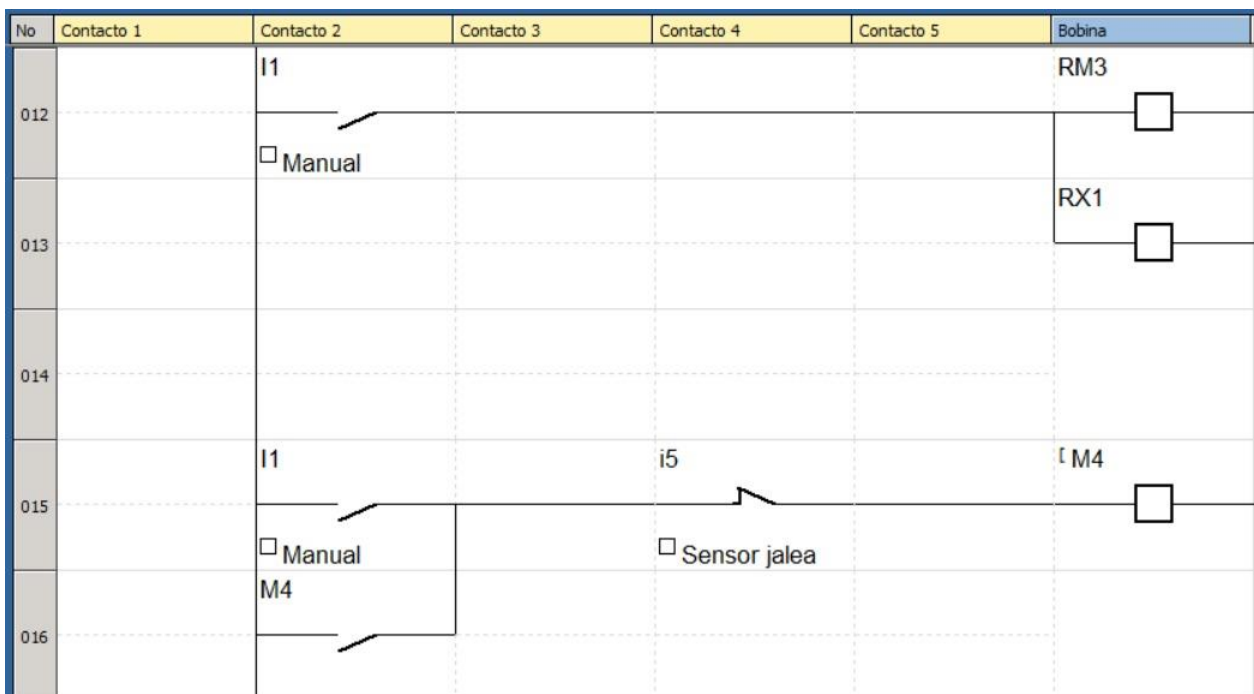


Figura C.3. Programación 3 del controlador Zelio SRU B101FU. Fuente: Elaboración propia.

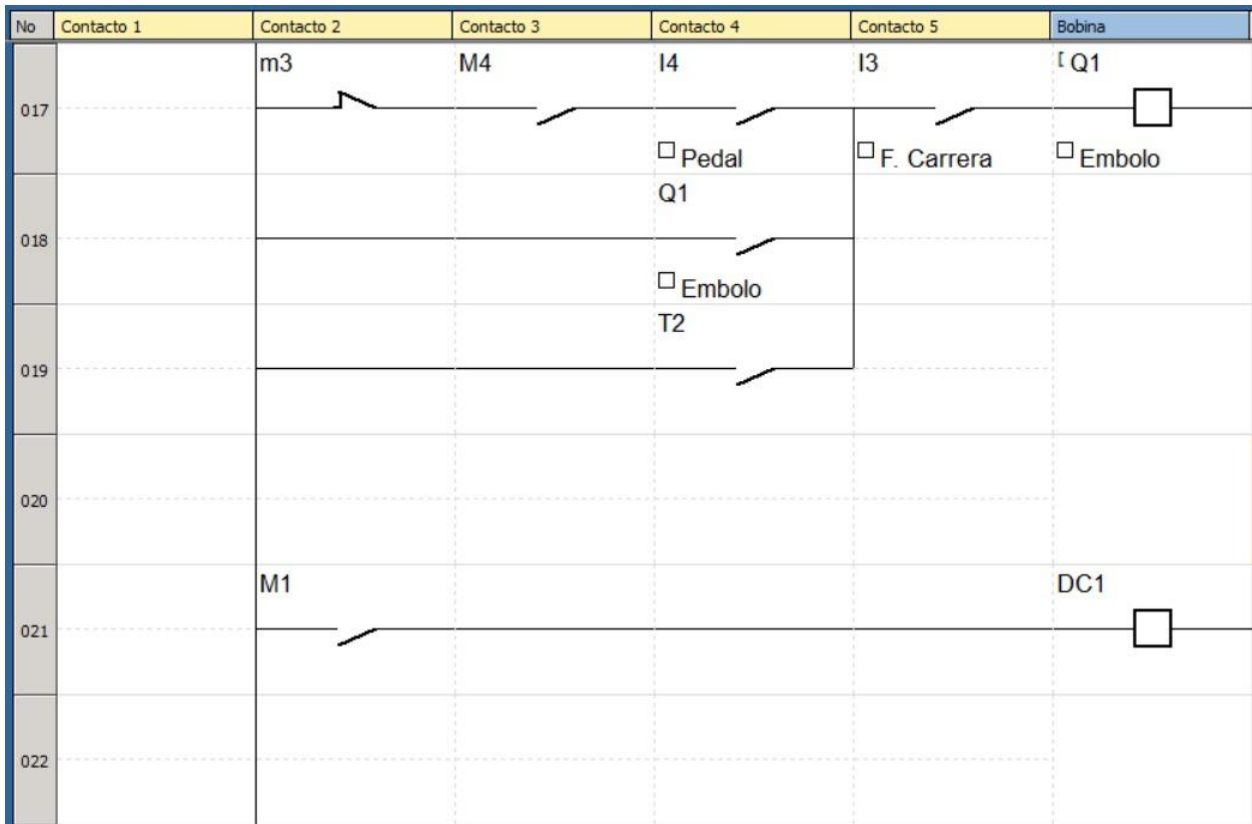


Figura C.4. Programación 4 del controlador Zelio SRU B101FU. Fuente: Elaboración propia.

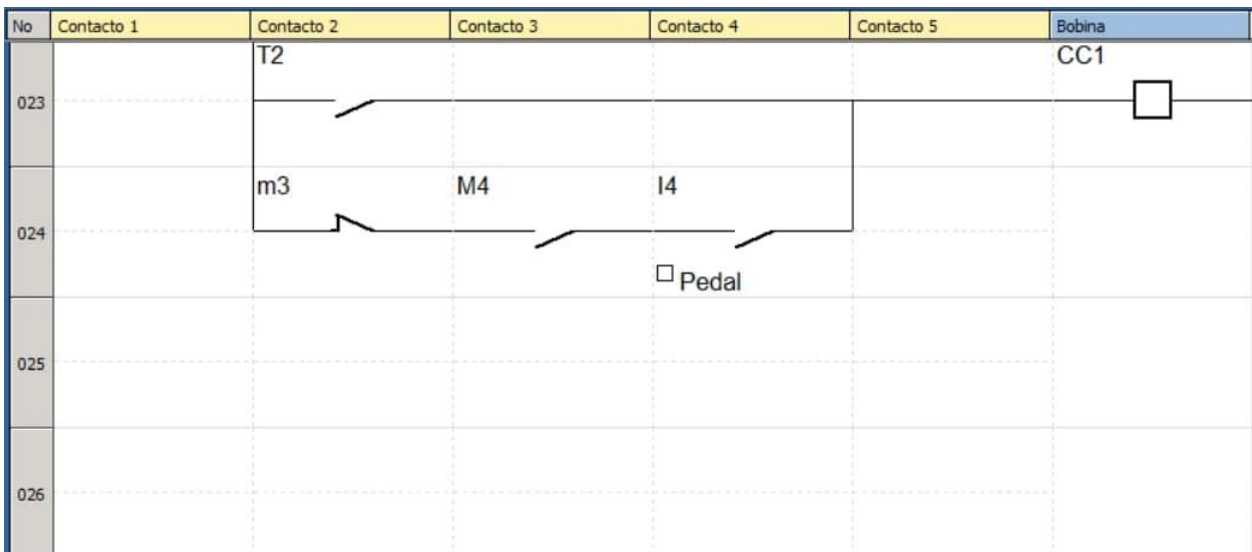


Figura C.5. Programación 5 del controlador Zelio SRU B101FU. Fuente: Elaboración propia.

Anexo D. Planos

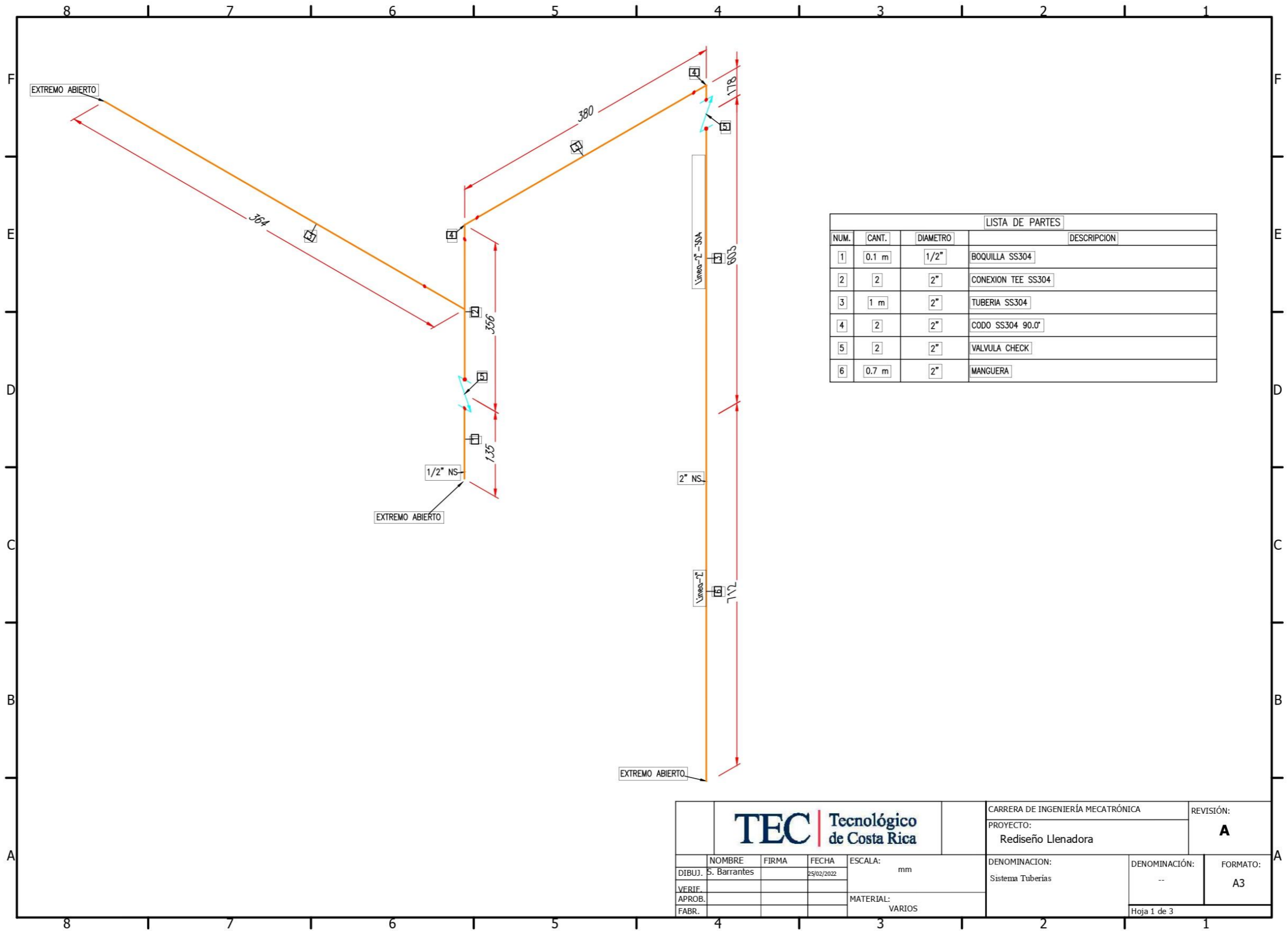
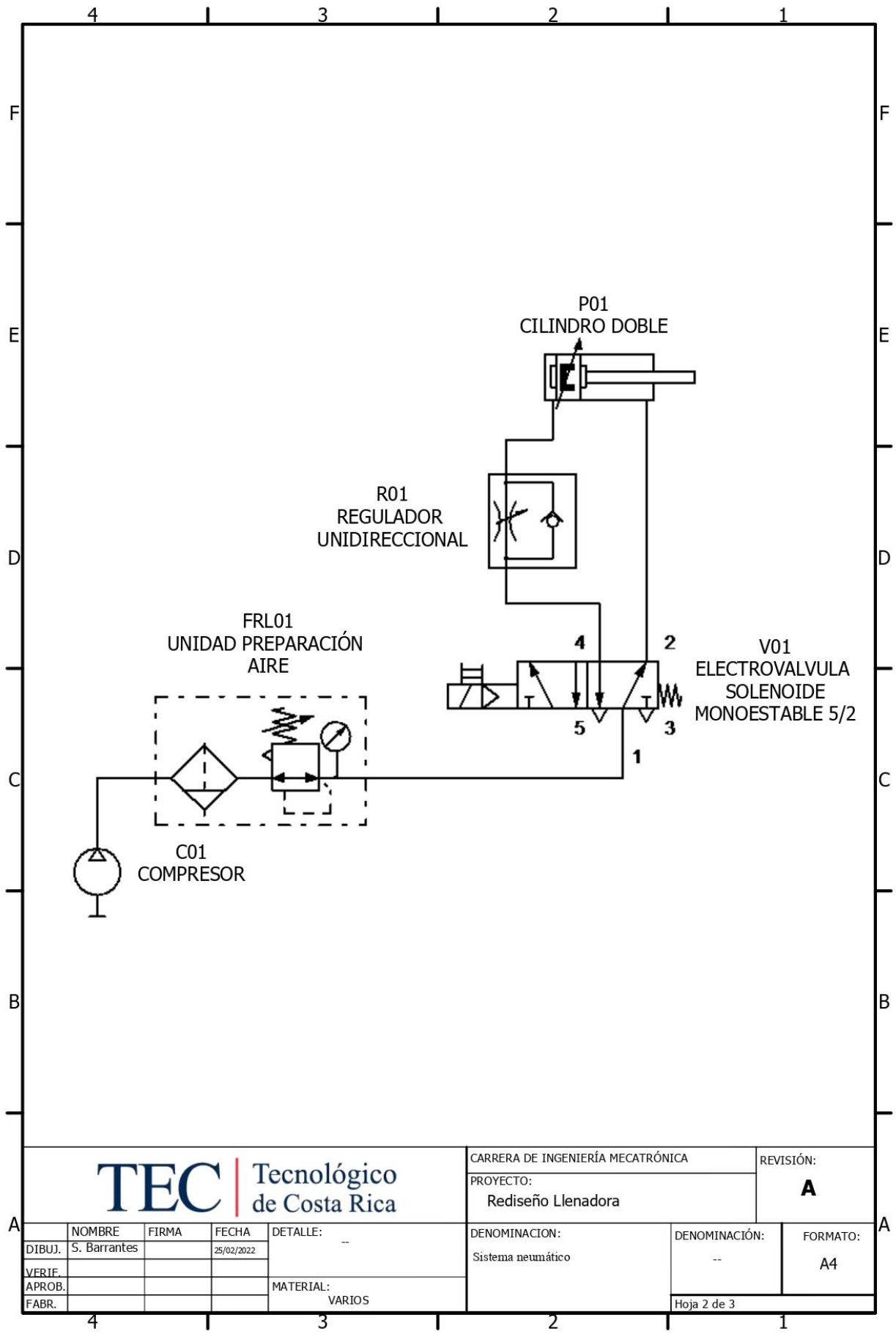
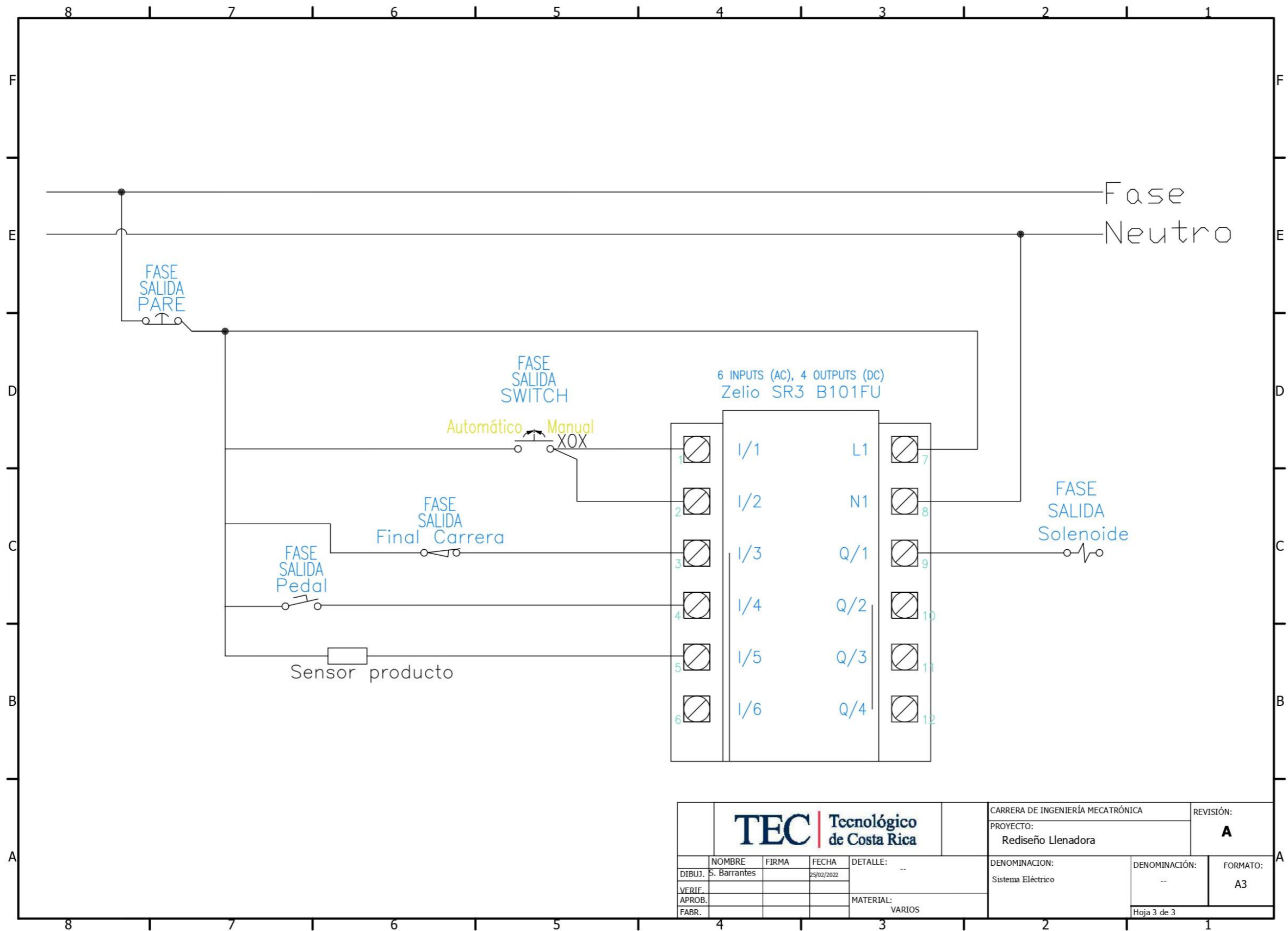


Figura D.1. Plano sistema de tuberías. Fuente: Elaboración propia.



				CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA		REVISIÓN:	
				PROYECTO: Rediseño Llenadora		A	
DIBUJ. S. Barrantes		FECHA: 25/02/2022		DENOMINACIÓN: Sistema neumático		DENOMINACIÓN: --	
VERIF.:		DETALLE: --		FORMATO: A4		Hoja 2 de 3	
APROB.:		MATERIAL: VARIOS					
FABR.:							

Figura D.2. Plano sistema neumático. Fuente: Elaboración propia.



				CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA		REVISIÓN:	
				PROYECTO: Rediseño Llenadora		A	
DIBUJ. S. Barrantes		FIRMA	FECHA 25/02/2022	DETALLE: --	DENOMINACIÓN: Sistema Eléctrico	DENOMINACIÓN: --	FORMATO: A3
VERIF.	APROB.	FABR.	MATERIAL: VARIOS		Hoja 3 de 3		

Figura D.3. Plano sistema eléctrico. Fuente: Elaboración propia.