UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

SEDE CUENCA

CARRERA DE MECATRÓNICA

DISEÑO DE UN SISTEMA MECATRÓNICO PARA CONTROLAR EL FLUJO DE DOSIFICACIÓN DE HELADO EN EL EMPRENDIMIENTO BIGOTES DE LECHE

Trabajo de titulación previo a la obtención del título de Ingeniera en Mecatrónica

AUTORES: CAMILA ELIZABETH ORTGEA LOPEZ
SARA DAYANA SOLORZANO NIEVA

TUTOR: ING. DIEGO RENE URGILES CONTRERAS, MGTR.

CO-TUTOR: ING. PAUL ANDRES CHASI PESANTEZ, MSC.

Cuenca – Ecuador

2025

CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Nosotras, Camila Elizabeth Ortega López con documento de identificación N° 0106502362 y Sara Dayana Solórzano Nieva con documento de identificación N° 0106037294; manifestamos que:

Somos las autoras y responsables del presente trabajo; y, autorizamos a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo de titulación.

Cuenca, 20 de febrero del 2025

Atentamente,

Camila Elizabeth Ortega López	Sara Dayana Solórzano Nieva
0106502362	0106037294

CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

Nosotras, Camila Elizabeth Ortega López con documento de identificación N° 0106502362 y Sara Dayana Solórzano Nieva con documento de identificación N° 0106037294, expresamos nuestra voluntad y por medio del presente documento cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autoras de la Propuesta Tecnológica: "Diseño de un sistema mecatrónico para controlar el flujo de dosificación de helado en el emprendimiento Bigotes de Leche", la cual ha sido desarrollada para optar por el título de: Ingeniera en Mecatrónica, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En concordancia con lo manifestado, suscribimos este documento en el momento que hacemos la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, 20 de febrero del 2025

Atentamente,

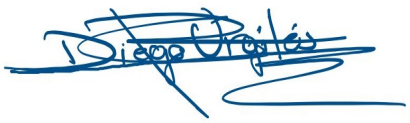
Camila Elizabeth Ortega López	Sara Dayana Solórzano Nieva
0106502362	0106037294

CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Diego Rene Urgiles Contreras con documento de identificación N° 0104431374, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: DISEÑO DE UN SISTEMA MECATRÓNICO PARA CONTROLAR EL FLUJO DE DOSIFICACIÓN DE HELADO EN EL EMPRENDIMIENTO BIGOTES DE LECHE, realizado por Camila Elizabeth Ortega López con documento de identificación N° 0106502362 y Sara Dayana Solórzano Nieva con documento de identificación N° 0106037294, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción Propuestas Tecnológicas que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, 20 de febrero del 2025

Atentamente,



Ing. Diego Rene Urgiles Contreras, MGTR.
0104431374

Dedicatoria

Camila Elizabeth Ortega López

Dedico este proyecto a mis padres que con su esfuerzo y paciencia me encuentro culminado mis estudios. Para mis hermanas que estuvieron en mis momentos buenos y malos, apoyándome y dándome fuerzas. A mis sobrinos, por demostrarme lo bonito que es reír como niños. Y por último para mi Pedro, aquella persona que me apoyó en cada momento, aquel que estuvo presente día y noche.

Sara Dayana Solórzano Nieva

El presente trabajo se lo dedico a mi familia por el apoyo que me han dado pero principalmente a mi padre y mi madre, por ayudarme a crecer y estar para mi en cualquier momento. También me dedico este trabajo a mi por mi esfuerzo y dedicación durante esta etapa y confirmar lo que puedo lograr a hacer si le hecho ganas. Finalmente ya termine la tesis!!!! Un pendiente menos. Canción: Mucha Lucha de Chicos de Barrio

Agradecimientos

Camila Elizabeth Ortega López

Agradezco a mis padres Johnny y Miriam por el tiempo y esfuerzo que invirtieron en mi y gracias a ello culminé mis estudios universitarios, además por todas las enseñanzas que formaron a la persona que soy actualmente, por apoyarme en mis logros y caídas, ayudándome a saber lo capaz que soy en lo que me propongo.

Además, agradezco a mi hermana Anahí por ser mi confidente y mi mejor amiga, por apoyarme en mi proceso académico, por sacarme muchas sonrisas con sus locuras, por hacerme saber que soy muy valiosa y enojarse cuando yo no podía. A mis hermanas Estefanía y Fernanda, por apoyarme y ese cariño en los momentos buenos y difíciles a lo largo de mi vida educativa. A mi sobrina Martina, por sacarme esas sonrisas y saber cómo es reír como niña. A mi sobrino Francisco, que recién te conozco, pero también te llevas una parte de mi corazón.

Y, por último, a mi Pedro, mi negro, por todo el cariño que me has dado, por estar presente en cada momento, ser testigo de mis logros y ser parte de ellos en otros. Por estar en esos momentos tristes y de caídas, dándome ánimos y fuerzas para no rendirme. Por hacer que sonría con tus locuras y chistes malos.

Sara Dayana Solórzano Nieva

Culminada mi etapa universitaria agradezco por su apoyo y amor a mi familia, mi madre Diana Nieva mujer que me dio la vida y la cuál esta conmigo desde que tengo razón, a mi padre Xavier Solórzano por siempre apoyarme para salir adelante. A mis tres hermanos, los que siempre me hacen morir de iras pero al mismo tiempo me sacan una sonrisa con sus ocurrencias, mis apoyos del día a día Oscar Solórzano, Josue Solórzano y la chiquita de la casa Antonella Solórzano. Agradezco tambien a mi abuela Luz Maria Martinez por estar para mi en todo momento y ser como una segunda madre para mi. Gracias familia por estar conmigo porque sin ustedes a mi lado no sería nadie y no estaría donde estoy ahora. Los amo a todos en verdad aunque aveces no lo demuestre siempre serán parte de mi, pase lo que pase ustedes son mi familia y son lo más importante que tengo.

No puedo olvidarme de mis bebes peludos mis dos gatos Luna y Lagrimon y mi perrito Akiles, que siempre me acompañaron en todo este proceso dándome mimos cuando estaba cansada y desvelada.

Hace poco me realicé un tatuaje en mi brazo izquierdo de una mariposa mami me pregunto que porque me lo quería hacer y esta es la razón una etapa de mi vida culminada, con un nuevo proposito de vida y muchas metas que alcanzar, la mariposa tatuada que tengo representa eso para mi. Besitos los amoooo!!!!!

Este documento fue realizado enteramente en LaTeX

Índice

Certificado de responsabilidad y autoría del trabajo de titulación **I**

Certificado de cesión de derechos de autor del trabajo de titulación a la Universidad Politécnica Salesiana **II**

Certificado de dirección del trabajo de titulación **III**

Dedicatoria **IV**

Agradecimientos **V**

Resumen **XVI**

Abstract **XVII**

1. Introducción **1**

2. Problema **1**

2.1. Descripción del problema 1

2.2. Antecedentes 2

2.3. Importancia y alcances 2

2.4. Delimitación 2

2.4.1. Espacial o geográfica 3

2.4.2. Temporal 3

2.4.3. Sectorial o institucional 3

3. Objetivos **4**

3.1. Objetivo general 4

3.2. Objetivos Específicos 4

4. Hipótesis **4**

4.1. Hipótesis General 4

4.2. Hipótesis Específicas 4

5. Marco Teórico **5**

5.1. El Helado 5

5.2. Proceso de dosificación manual de la mezcla de helado 5
5.3. Dosificadores industriales 6
5.3.1. Dosificadores Líquidos 6
5.4. Tolvas de almacenamiento 7
5.4.1. Tolva cuadrada 7
5.4.2. Tolva cónica 7
5.4.3. Tolva octogonal 7
5.5. Automatización 8
5.6. Sensores 8
5.6.1. Tipos de sensores 8
5.7. Controladores lógicos programables (PLC) 8
5.8. HMI (Interfaz Hombre-Máquina) 9
5.9. Motoreductores 9
5.10. Bandas transportadoras 9
5.10.1. Características de las Bandas transportadoras 9
5.10.2. Tipos de bandas transportadoras 10

6. Marco metodológico **10**
6.1. Levantamiento de Información del estado actual del área de dosificado de la mezcla de helado en la línea de producción en el emprendimiento Bigotes de leche 10
6.1.1. Estado Operativo Actual 11
6.1.2. Estudios de laboratorio 16
6.2. Diseño del prototipo mecánico para el sistema de dosificado de helado en el emprendimiento Bigotes de leche 20
6.2.1. Especificaciones Técnicas 20
6.2.2. Esbozo inicial del prototipo 21
6.2.3. Parámetros para el diseño de la maquina dosificadora 24
6.2.4. Selección del sistema de dosificación 26
6.2.5. Diseño conceptual del sistema de dosificación (Sistema mediante pistones). 28
6.2.6. Selección de los elementos para el diseño mecánico del dosificador . . 28
6.2.7. Modelo matemático para la selección del pistón dosificador 31
6.2.8. Selección de Materiales 44
6.2.9. Diseño mecánico de los elementos de la máquina dosificadora 45
6.2.10. Diseño del sistema para el desplazamiento vertical de las boquillas de dosificación 53

6.2.11. Calculo estructural del soporte de los elementos de dosificación . . . 58
6.2.12. Diseño de la banda transportadora 67
6.3. Desarrollar una estrategia de control para el sistema de dosificado de helado en la microempresa Bigotes de leche 88
6.3.1. Descripción del proceso de dosificado 88
6.3.2. Definir las necesidades. 92
6.3.3. Definir las variables a controlar 93
6.3.4. Elección de sensores y actuadores. 93
6.3.5. Definir número de entradas y salidas 98
6.3.6. Selección del controlador 99
6.4. Realizar un análisis de costo del sistema mecatrónico de dosificado de helado en el emprendimiento Bigotes de leche 108
6.4.1. Escenario pesimista 117
6.4.2. Escenario probable 119
6.4.3. Escenario optimista 121

7. Resultados **123**
7.1. Análisis del resultado sobre el levantamiento de información del estado actual del área de dosificado de la mezcla de helado en la línea de producción . . . 123
7.2. Resultado del prototipo mecánico para el sistema de dosificado de helado . . 124
7.3. Resultado de la automatización del sistema de dosificado de helado 127
7.4. Resultado del análisis de costo del sistema mecatrónico de dosificado de helado 128

8. Cronograma **130**

9. Presupuesto **132**
9.1. Talento humano 132
9.2. Proceso de fabricación 132
9.3. Recursos materiales 133

10. Conclusiones **134**

11. Recomendaciones **135**

Referencias **137**

ANEXOS **140**

Lista de Tablas

1. Tabla de los procesos de producción en el emprendimiento Bigotes de Leche . 13
2. Resultados helado de mora 18
3. Resultados helado de maracuyá 19
4. Criterios utilizados para la evaluación 23
5. Selección del boceto #2 24
6. Requerimientos y restricciones del emprendimiento 25
7. Datos en la fabricación de los helados 25
8. Datos de densidad y peso de los helados 26
9. Criterios de diseño 26
10. Denominaciones y variables 27
11. Calificación asignada por cada factor de dificultad 27
12. Dimensiones de la tubería para conectar al caudalímetro 31
13. Propiedades del Helado 34
14. Número de Reynold para los sabores de helados en parte 1 35
15. Factores de fricción de los sabores de helado en parte 1 35
16. Pérdidas primarias de los sabores de helado en parte 1 36
17. Presión de dosificación 37
18. Pérdidas generadas en la válvula 40
19. Coeficiente K en contracción gradual 40
20. Número de Reynold para los sabores de helados en parte 2 40
21. Factores de fricción de los sabores de helado en parte 2 41
22. Pérdidas primarias de los sabores de helado en parte 2 41
23. Resultados de presión en la parte 2 41
24. Factor de fricción y pérdidas primarias en parte 3 43
25. Presión requerida en la base de la camisa de cilindro 43
26. Fuerza mínima requerida por el pistón dosificador 44
27. Características del material escogido 45
28. Datos de los helados para el diseño de la tolva 46
29. Matriz de decisión para el tipo de boquillas. 53
30. Características generales de la boquilla de llenado brindadas por el fabricante. 54
31. Cuadro de selección de motorreductores 73
32. Dimensiones de los rodillos según la normativa DIN 15207 74
33. Diseño del control y ciclo continuo 92

34. Definición de las necesidades en base a etapas 92
35. Sensor de proximidad 93
36. Sensor de proximidad magnético 94
37. Caudalímetro 94
38. Actuadores 95
39. Válvula asiento angular de 3 vías 95
40. Válvula 5/2 vías monoestable 96
41. Pistón neumático 96
42. Pistón neumático 97
43. Variador de frecuencia 97
44. Motor 98
45. Entradas y salidas 98
46. Punto de Equilibrio 109
47. Costos indirectos del sistema propuesto 111
48. Costos de mano de obra técnica 111
49. Costo total de implementación 112
50. Depreciación de la máquina 113
51. TREMA 113
52. Préstamo bancario con una tasa del 15 % 114
53. Anualidades del préstamo bancario con una tasa del 15 % 114
54. Datos iniciales 115
55. Ventas anuales 115
56. Variación del precio de venta 116
57. Datos iniciales para el escenario pesimista 117
58. Determinación de los estados de flujo de manera anual en el escenario pesimista 118
59. Datos iniciales para el escenario probable 119
60. Determinación de los estados de flujo de manera anual en el escenario probable 120
61. Datos iniciales para el escenario optimista 121
62. Determinación de los estados de flujo de manera anual en el escenario optimista 122
63. Resultados obtenidos 126
64. Comparación entre escenarios 130
65. Cronograma de actividades. 131
66. Recurso de talento humano 132
67. Costos por lote del proceso de fabricación - Sabor Galleta Oreo 133
68. Recurso de talento humano 133

Lista de Figuras

1. Ubicación geográfica de Bigotes de Leche . . . 3
2. Tipos de dosificadores . . . 6
3. Preparación de la crema de helado . . . 11
4. Colocación de los envases en la bandeja . . . 12
5. Dosificación manual del helado . . . 12
6. Gráfico organizacional de Bigotes de Leche . . . 14
7. Pruebas de laboratorio . . . 17
8. Gráfica Tiempo vs. Viscosidad . . . 18
9. Gráfica Tiempo vs. Viscosidad . . . 19
10. Datos del Contenedor . . . 20
11. Boceto 1 . . . 21
12. Boceto 2 . . . 22
13. Boceto 3 . . . 22
14. Diseño conceptual . . . 28
15. Longitud de entrada recomendada >10 . . . 29
16. Instalación delante de una descarga abierta . . . 30
17. Longitud de salida recomendada $> 2D_N$ . . . 30
18. Sistema de succión e inyección seccionado . . . 32
19. Medidas (mm) de la línea de instalación del caudalímetro . . . 33
20. Constantes K de pérdidas por accesorios . . . 36
21. Dimensiones de tuberías donde se ubica válvula tres vías . . . 37
22. Caída de presión en una válvula . . . 39
23. Cambio brusco de diámetro entre camisa de cilindro y resto de tubería . . . 42
24. Dimensiones básicas de la tolva . . . 47
25. Diseño de la tolva . . . 49
26. Soldadura a tope sin preparación de junta . . . 50
27. Boquilla de llenado de la marca E-PAK de YIYIBYUS . . . 54
28. Número de dientes estándares en catalinas . . . 56
29. Power ratings de las catalinas 08B-1 . . . 57
30. Estructura que soporta el sistema de dosificación . . . 58
31. Diagrama de cuerpo libre de la estructura . . . 59
32. Sección transversal perfil tipo V con sus medidas correspondientes . . . 60
33. Diagrama de cuerpo libre de las vigas . . . 63

34. Estructura cinta transportadora 68
35. Clasificación de las diferentes dimensiones de un rodillo 74
36. Ubicación de las vigas 76
37. Diagrama de cuerpo libre 77
38. Diagrama de cuerpo libre con fuerzas dinámicas 81
39. Longitud de la estructura es de 1.5m 82
40. Análisis dinámico 87
41. Análisis dinámico con gráfico 87
42. Etapas de del dosificado 89
43. Diagrama de flujo del diseño del control y ciclo continuo 90
44. Diseño del control y ciclo continuo 91
45. PLC siemens S71500 (6ES7215-1BG40-0XB0)- 14 DI a 24 VDC, 10 DO tipo relé, 2 AI (0-10VDC), 2 AO (0/4-20mA) 100
46. (100260611) SM1223 Módulo de señal de 16DI a 24VDC + 16DO a 24VDC . 100
47. (100262443) SM1231 Módulo de señal de 4 entradas analógicas. Configurables como V/mA 101
48. (100262429) SM1231 Módulo de señal de 8 entradas analógicas. Configurables como V/mA 101
49. Interfaz de TIA PORTAL 102
50. Plantilla en la interfaz virutal de FactoryIO 102
51. Integración con TIAPortal 103
52. Integración con TIAPortal con módulos del banco de trabajo 103
53. Creación de la tabla de variables 104
54. Programación en el bloque de programa ”MAIN” 104
55. Configuración del drive 105
56. Simulación del sistema de dosificado en FactoryIO 105
57. Salida del programa en el HMI 106
58. Simulación del sistema de Control 107
59. Simulación del sistema de Control 107
60. Circuito esquemático del sistema de control 108
61. Punto de Equilibrio 110
62. Deformación unitaria 125
63. Estrés equivalente 125
64. Diseño mecánico para el sistema de dosificado de helado 127
65. Escenario pesimista 128

66. Escenario probable 129
67. Escenario optimista 129

Resumen

El presente proyecto de titulación propone el diseño de un sistema mecatrónico para controlar el flujo de dosificación de helado en el emprendimiento "Bigotes de Leche". El mismo plantea una solución al proceso de dosificación manual que caracteriza a los emprendimientos artesanales, que puede llegar a influir en su capacidad de producción en un ambiente competitivo.

Para esto se plantea el diseño de un sistema que permita la dosificación del producto de manera rápida y eficiente. El cual integra componentes mecatrónicos que permiten tiempos de producción y controlar la cantidad de dosificado, asegurando que no exista desperdicio, mejorando los tiempos operativos. Además, la propuesta permite incrementar la capacidad de producción, lo que asegura cumplir una mayor demanda cuando sea necesario sin comprometer la disponibilidad.

Además, se presenta una serie de bocetos para dicho sistema donde a través de una matriz de decisión se seleccionó el diseño más apropiado según los requerimientos del emprendimiento, luego se realizó un inventario con los insumos necesarios para su futura implementación tomando en cuenta la propuesta de control conjunto con sus conexiones eléctricas y electrónicas. Finalmente se realizó el análisis económico en tres escenarios diferentes para determinada la viabilidad del proyecto en 5 años.

Palabras clave: Sistema mecatrónico, Flujo de dosificación, Helado, Dosificación eficiente, Análisis económico, Propuesta de sistema.

Abstract

This thesis project proposes the design of a mechatronic system to control the ice cream dosing flow in the “Bigotes de Leche” entrepreneurship It proposes a solution to the manual dosing process that characterizes artisan companies, which can influence their production capacity in a competitive market.

In this way, the design of a system is focused on the dosing of the product in a fast and efficient way. This system integrates mechatronic components for regulating product´s dosing, to minimize product waste, and as such, improving the operation times. In addition, the project allows to increase the production capacity, to guarantee to reach a higher demand if it is necessary keeping the product quality.

To sum up, this project presents several technical drawings with different options for the structural system, using a Decision Matrix to choose the best option that meets the production requirements while aligning with the electronic and control systems. Finally, this document provides an economic analysis to evaluate different market scenarios and determine its feasibility over the next five years.

Keywords: Mechatronic system, Metering flow, Ice cream, Efficient metering, Economic analysis, System proposal.

1. Introducción

Actualmente, los emprendimientos dedicados a la venta de alimentos enfrentan desafíos para poder cumplir con la capacidad de producción necesaria y competir en el mercado. Sobre todo, cuando se trata de emprendimientos artesanales los cuales requieren de trabajo extra dentro de su producción con el fin de posicionarse en el mercado.

De esta manera, el siguiente trabajo de titulación realiza un análisis de un negocio artesanal de helados llamado "Bigotes de Leche", para generar una alternativa a su proceso de dosificación de helado mediante el diseño de una máquina dosificadora en base a los requerimientos brindados por los dueños del emprendimiento. Empleando los conocimientos en ingeniería mecatrónica, se correlacionan el diseño de la estructura del sistema, el diseño de control con fines industriales, y el estudio económico sobre el impacto de la aplicación del proyecto dentro del negocio.

Con estos enfoques, se busca un diseño innovador para el mejoramiento de las capacidades a nivel de producción y tiempos de operación.

Finalmente, se presentan los materiales propuestos, en base a análisis de cada componente y los cálculos necesarios para la comprobación de su factibilidad, que permiten juntos diseñar un sistema de dosificación apto para su uso en helados, junto con un análisis económico que permita analizar la rentabilidad del proyecto.

2. Problema

2.1. Descripción del problema

En el progresivo mercado de helados artesanales en la ciudad de Cuenca el emprendimiento Bigotes de leche tiene una producción semanal de 150 a 500 helados aproximadamente, con unos 600 a 2000 unidades mensuales, lo cual dependerá de la época del año y de las demandas del mercado Ortega (2024). Donde el proceso de dosificación manual tiene el 0.7 % de productos defectuosos lo que equivale a 35 unidades de helados defectuosos en la semana y 140 unidades defectuosas en el mes. La dependencia del método manual para el dosificado presenta varios problemas como inconsistencias en el llenado de envases, desperdicio de producto, tiempos de producción prolongados y riesgos para la seguridad alimentaria respecto a la contaminación

cruzada.

2.2. Antecedentes

Dentro de la industria alimentaria el mercado de helados artesanales se encuentra en expansión, como parte de este sector el emprendimiento Bigotes de leche enfocada en la elaboración y comercialización de helados artesanales dentro de la ciudad de Cuenca, presenta inconvenientes en el área de dosificado de la mezcla de helado, de acuerdo con los datos del emprendimiento se tiene un promedio de productos defectuosos del 0.7 % semanal, debido a que dicho proceso se realiza de manera manual, considerando este porcentaje surge la necesidad optimizar los procesos de dosificado. La automatización de tareas como el llenado de envases con precisión milimétrica, minimizando el desperdicio y asegura una producción consistente.

En el proyecto "Diseño y construcción de máquina dosificadora de helados de crema para la industria artesanal" desarrollado por Simbaña Arévalo (2015) realiza la implementación del sistema mediante un conjunto de componentes mecánicos, neumáticos, eléctricos o electrónicos que, al estar interconectadas, recopilan datos sobre su rendimiento, los comparan con información previa y, si es necesario, ajustan el proceso para lograr un resultado específico. Con la integración de estos elementos permite desarrollar un sistema eficaz y versátil, capaz de satisfacer las demandas específicas de producción de helados, garantizando un dosificado preciso y consistente.

2.3. Importancia y alcances

El prototipado de un sistema mecatrónico para el dosificado de la mezcla de helados con control de flujo permite mejorar la eficiencia, precisión y seguridad en la producción alimentaria. Su importancia radica en la optimización del proceso, la garantía de calidad del producto, la mejora de los estándares de seguridad alimentaria y la introducción de innovación mecatrónica en la industria. El alcance del proyecto el diseño mecánico y electrónico hasta la simulación del sistema, incluyendo la selección de componentes, la programación y configuración de los elementos de control.

2.4. Delimitación

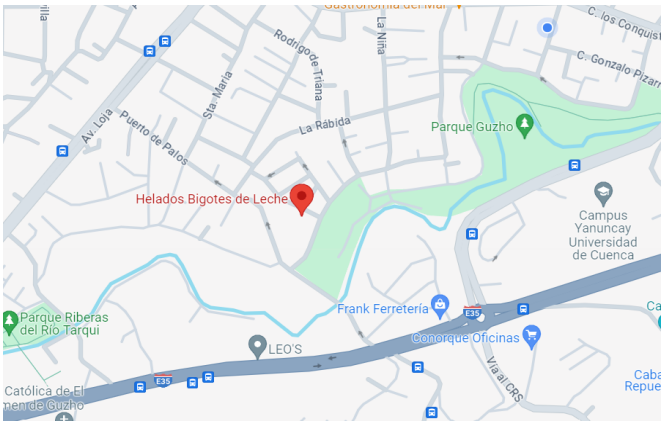
El proyecto se delimitará dentro de las siguientes aspectos:

2.4.1. Espacial o geográfica

Este proyecto esta enfocado en Bigotes de Leche, un emprendimiento que se dedica a hacer helados artesanales en Cuenca, Ecuador. Esta zona geográfica es crucial porque establece el contexto operativo y las circunstancias locales, las cuales tienen un impacto directo en los procesos de producción, las dinámicas de mercado y las soluciones estratégicas que se pueden llevar a cabo.

Figura 1

Ubicación geográfica de Bigotes de Leche.



Nota: *Mapa obtenido de Google Maps, buscando en el mismo "Bigotes de leche".*

2.4.2. Temporal

La delimitación temporal de este estudio abarca el periodo 64, con una duración total de 240 horas. Durante estos meses, se llevarán a cabo todas las actividades de investigación, análisis y propuesta de soluciones. Este marco temporal es crucial para entender el contexto en el que se desarrolla el estudio, ya que los procesos de producción, las dinámicas de mercado y las estrategias de negocio pueden variar con el tiempo. Además, este periodo permite un análisis detallado de los desafíos que enfrenta Bigotes de Leche en su operación actual y ofrece una base sólida para proyectar futuras mejoras.

2.4.3. Sectorial o institucional

El enfoque sectorial de este trabajo se centra en la industria de helados artesanales, específicamente en Bigotes de Leche, una empresa dedicada a la producción de helados

artesanales en la ciudad de Cuenca, Ecuador. La investigación se desarrollará dentro de esta institución, analizando sus procesos, recursos, y dinámicas de mercado con el objetivo de proponer mejoras específicas para esta entidad.

3. Objetivos

3.1. Objetivo general

- Diseñar un sistema mecatrónico para controlar el flujo de dosificación de helado en el emprendimiento Bigotes de leche.

3.2. Objetivos Específicos

- Levantar información del estado actual del área de dosificado de la mezcla de helado en la línea de producción en el emprendimiento Bigotes de leche.
- Diseñar un prototipo mecánico para el sistema de dosificado de helado en el emprendimiento Bigotes de leche.
- Diseñar la automatización del sistema de dosificado de helado en el emprendimiento Bigotes de leche.
- Realizar un análisis de costo del sistema mecatrónico de dosificado de helado en el emprendimiento Bigotes de leche.

4. Hipótesis

4.1. Hipótesis General

- La propuesta de diseño de un sistema mecatrónico para controlar el flujo de dosificación de helado en el emprendimiento Bigotes de leche mejorará la eficiencia y precisión del proceso de dosificación, asegurando el cumplimiento de los estándares de calidad y seguridad alimentaria del producto final.

4.2. Hipótesis Específicas

- La información recopilada sobre el estado actual del área de dosificación de la mezcla de helado en la línea de producción en el emprendimiento Bigotes de leche revelará

deficiencias en el proceso actual que pueden ser mejoradas mediante la implementación del sistema mecatrónico.

- El diseño y desarrollo del prototipo mecánico para el sistema de dosificación de helado en el emprendimiento Bigotes de leche resultará en un dispositivo funcional y adaptable a las necesidades específicas de la producción de helado.
- El desarrollo del diseño de automatización para el sistema de dosificación de helado en el emprendimiento Bigotes de leche permitirá regular de manera precisa y consistente el flujo de la mezcla de helado, mejorando así la uniformidad y consistencia del producto final.
- El análisis de costos del sistema mecatrónico de dosificación de helado en el emprendimiento Bigotes de leche demostrará que la inversión en esta tecnología resulta en un retorno de la inversión positivo a través de la reducción de desperdicios, la optimización de recursos y la mejora en la eficiencia del proceso de producción.

5. Marco Teórico

5.1. El Helado

De acuerdo con la normativa INEN (1983), el helado se define como un producto de alimentación procesado y endulzado, producido mediante una mezcla que incluye grasas y proteínas, junto con otros componentes y aditivos permitidos por la legislación en vigor. Su fabricación puede involucrar procedimientos de agitación y congelación; sin embargo, también se puede elaborar sin estos pasos, siempre y cuando se mantengan las condiciones apropiadas para su almacenaje.

Además, Alfonsin (2010) sostiene que, en su forma más básica, el helado es un postre congelado que puede incluir agua, leche o crema de leche, mezcladas con azúcares, edulcorantes y componentes.

5.2. Proceso de dosificación manual de la mezcla de helado

El procedimiento de dosificación a mano de la combinación de helado constituye la fase más extendida en la producción. La mezcla se coloca en barriles individuales para su dosificación en cada recipiente. Este proceso demanda cerca de 15 minutos para cada plato de helados.

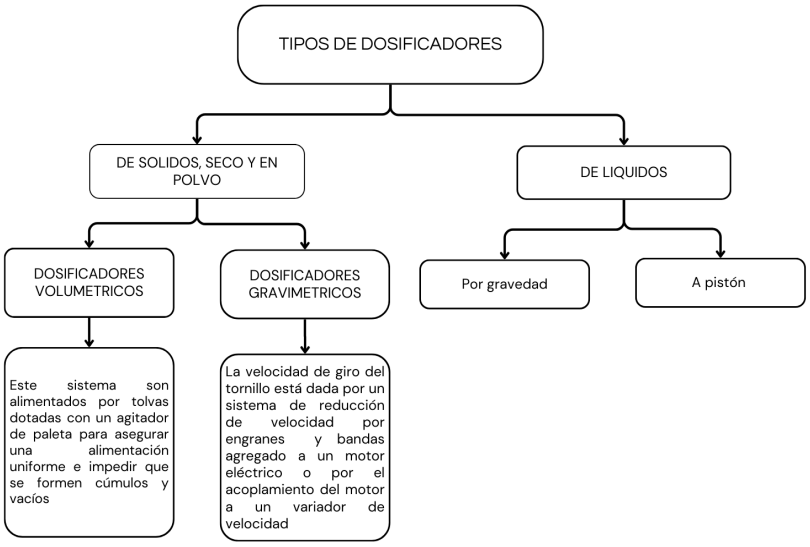
En consecuencia, se consigue una dosificación inconsistente, lo que causa variaciones en el tamaño del producto final y causa diferencias entre los helados.

5.3. Dosificadores industriales

De acuerdo con García (2023), la meta de la dosificación es gestionar la cantidad de los componentes añadidos y garantizar una producto uniforme (p.31). La Figura 2 muestra los diferentes tipos de dosificadores.

Figura 2

Tipos de dosificadores.



Nota: *Diagrama de tipos de dosificadores elaborado en base a la información propuesta por Simbaña Arévalo (2015).*

5.3.1. Dosificadores Líquidos

Dosificadores por gravedad

Es un recipiente creado para guardar líquido, usualmente proporcionado desde un depósito principal mediante un flotador interno que controla la provisión. En la parte baja, posee una válvula controlada por la máquina de embotellado, que regula el paso del líquido en el instante

requerido.

Dosificadores a pistón

Este sistema se utiliza para el tratamiento de líquidos y compuestos semilíquidos, y se compone de uno o más recipientes herméticos diseñados para el almacenaje del fluido. Mediante la acción de uno o varios pistones, el producto es propulsado desde el contenedor y orientado hacia una boquilla en la punta, donde se dosifica en el recipiente final.

5.4. Tolvas de almacenamiento

De acuerdo con la RAE (2024), la tolva es un recipiente con forma de tronco de pirámide o cono invertido, con una apertura en su base, diseñado para guardar y dosificar granos u otros materiales. Su tarea principal consiste en facilitar la caída regulada del material mediante los elementos de un sistema diseñado para su trituración, molienda, limpieza, clasificación o descarga (p.34).

5.4.1. Tolva cuadrada

De acuerdo con Simbaña Arévalo (2015), se puede montar la tolva cuadrada a través de la soldadura o el atornillado de sus extremos. Se compone de una base metálica cuadrada, con una disposición piramidal en su parte baja, cuya salida facilita la liberación del producto (p.35).

5.4.2. Tolva cónica

De acuerdo con Simbaña Arévalo (2015), la tolva cónica es frecuentemente utilizada para almacenar líquidos y semilíquidos (p.35). La tolva consta de una parte superior en forma de cilindro y una parte de forma cónica, por donde el contenido sale. Su diseño solo dispone de tres soldaduras para su montaje, lo que reduce la pérdida de producto en sus muros.

5.4.3. Tolva octogonal

De acuerdo con Simbaña Arévalo (2015), la tolva octogonal se utiliza para almacenar grandes volúmenes de producto, ya que es la que resiste las presiones más elevadas. Dentro de las diversas clases de silos y tolvas, es la que soporta la carga más alta (p.36).

5.5. Automatización

El proceso de producción de helados automatizado mejora la eficiencia y disminuye los gastos al acelerar los procedimientos. Los pasos esenciales comprenden la valoración de requerimientos, la elección de equipos apropiados, la organización de la implementación y la ejecución de exámenes rigurosos.

5.6. Sensores

De acuerdo con Rivero (2024), los sensores son aparatos formados por células sensibles que identifican cambios en una magnitud física y los convierten en señales valiosas para un sistema de medición o control (p.43).

5.6.1. Tipos de sensores

- **Sensores ópticos**: Son artefactos que reaccionan a la intensidad de la luz que incide sobre ellos.
- **Sensores de posición**: Los sensores de posición permiten determinar la ubicación relativa de un objeto dentro de un sistema.
- **Sensores de contacto** : Estos son esencialmente interruptores que se activan cuando un componente móvil llega a un punto específico de su trayectoria, el cual no se debe exceder.
- **Sensores Magnéticos**: Son aquellos que detectan los campos magnéticos generados por imanes o corrientes eléctricas.
- **Sensores Infrarrojos**: Estos dispositivos son diodos que pueden generar luz infrarroja, y transistores que son sensibles a este tipo de ondas, lo que les permite detectar las emisiones de los diodos.

5.7. Controladores lógicos programables (PLC)

Torres (2012) detalla que los Controladores Lógicos Programables (PLC) son aparatos digitales electrónicos con memoria programable, creados para gestionar maquinaria y procesos. Son sólidos, duraderos y facilitan la modificación de los sistemas de control sin la necesidad

de reconfigurarlos. Su interfaz unificada simplifica la programación, fundamentándose en operaciones lógicas y de conmutación. Se emplean extensamente en la automatización industrial, proporcionando flexibilidad y economía.

5.8. HMI (Interfaz Hombre-Máquina)

El HMI (Interface Hombre-Máquina) es un elemento que promueve la interacción entre el trabajador y el sistema automatizado, usualmente un PLC (Controlador Lógico Programable). Facilita la visualización de información, la interacción con el sistema y el monitoreo de procesos industriales en tiempo real. El HMI se vincula al PLC a través de protocolos como Modbus, Ethernet Industrial y Profibus, estableciendo direcciones IP y empleando Profinet para el intercambio de variables entre ambos equipos.

5.9. Motoreductores

Los motorreductores son elementos óptimos para el funcionamiento seguro y eficaz de maquinaria industrial. Ofrecen beneficios como gran eficiencia en la transmisión de potencia, estabilidad en el par transmitido, ocupan escaso espacio, necesitan un mantenimiento reducido y aseguran la seguridad.

5.10. Bandas transportadoras

Las bandas de transporte fusionan la acción de transportar materiales con la acción de rueda. A través de la utilización de dos rodillos que mueven una banda elástica, se produce una estructura constante que facilita el movimiento del peso.

5.10.1. Características de las Bandas transportadoras

- **Rodillos**: Están conformados por las siguientes partes, donde la primera se encarga de soportar la banda y el material a transportar y soportar el impacto producido por la caída del material, mientras que la segunda parte tiene como objetivo desplazar el material desde el centrado de la banda.

- **Tambores**: Estos se clasifican de acuerdo a su función en tambores motrices, que transmiten la fuerza tangencial a la banda, están conectados por medio de poleas, catalinas con cadenas o motorreductor. Tambores no motrices, los cuales realizan la función de cambio de trayectoria de la banda y su movimiento es inducido por la banda.

- **Dispositivos de tensado**: Los dispositivos de tensado cumplen las siguientes funciones, que es lograr el adecuado contacto entre la banda y el tambor motriz. Ademas, compensa las variaciones de longitud producidas en la banda y tercero mantiene la tensión adecuada sobre la banda.

- **Motorreductor**: Para el accionamiento del rodillo impulsor que mueve la cinta, se suele emplear un motor eléctrico dotado de un reductor de velocidad cuyo eje de salida engrana con el eje del rodillo impulsor de la cinta. Chover (2016).

5.10.2. Tipos de bandas transportadoras

Las bandas transportadoras se componen de un conjunto de rodillos colocados en sentido perpendicular a la dirección de progreso. Estos rodillos están ubicados en un soporte estable que eleva la misma desde la parte inferior. Las bandas que llevan la carga unificada se mueven a medida que los rodillos se mueven.

- **Banda con ruedas**: Consta de pequeñas ruedas como las de los “patines” montadas sobre ejes rotatorios conectados al armazón se emplean para desplazar las bandejas, u otros contenedores.

- **Banda plana**: Este tipo de cinta está disponible en dos formatos comunes: cintas planas para pallets, piezas o materiales en masa; y cintas huecas para materiales en masa.

- **Banda con cadena**: Son bandas que están formadas por lazos de cadena sin fin alrededor de ruedas dentadas motorizadas.

- **Banda tipo flexible**: Estas bandas se pueden ajustar completamente al terreno y con unidades capaces de realizar configuraciones de inclinación.

6. Marco metodológico

6.1. Levantamiento de Información del estado actual del área de dosificado de la mezcla de helado en la línea de producción en el emprendimiento Bigotes de leche

En este capítulo se realiza un análisis detallado del rendimiento presente del sistema de dosificación manual de helado ubicado en la línea de producción del proyecto "Bigotes

de Leche". Este estudio se llevó a cabo siguiendo las directrices de la norma ISO 22000, donde Oramas Castro (2024) señala que "esta norma mundial de seguridad alimentaria define requisitos para los sistemas de administración, garantizando que los alimentos sean seguros en toda la cadena de producción"(p.7).

6.1.1. Estado Operativo Actual

El propósito de este capítulo es presentar la recopilación de información acerca del estado actual de funcionamiento del sistema de dosificación de la mezcla de helado en la línea productiva del proyecto Bigotes de Leche. En este marco, se estudiaron los procedimientos involucrados, tal como se ilustra en las Figuras 3, Figura 4 y Figura 5. Adicionalmente, se valoraron la duración de los ciclos de producción, la presencia de los equipos y los recursos técnicos requeridos para la adecuada fabricación de los productos. De acuerdo con Martínez (2023), el análisis de los tiempos de ciclo y la eficacia de las máquinas son elementos clave para maximizar la productividad en el sector alimentario.

Figura 3

Preparación de la crema de helado.

Nota: *Preparación de la crema de helado (Toma de tiempos del proceso).*

Figura 4

Colocación de los envases en la bandeja.

Nota: *Colocación de los envases para la dosificación manual.*

Figura 5

Dosificación manual del helado.

Nota: *Dosificación manual de la crema de helado.*

Bigotes de Leche se especializa en la elaboración y comercialización de helados, proyectando una venta semanal de 300 unidades, número que puede variar dependiendo de la estación del año. Los helados se elaboran en grupos, contando con un máximo de cuatro sabores: mora, maracuyá, oreo y mango, en función del periodo anual. Para la creación de helados, se necesitan una serie de ingredientes particulares, que cambian dependiendo del gusto y la base

del helado.

- Base de Helado:
  - Crema: 900 ml para 40 helados.
  - Azúcar: 400 gr para 40 helados.
- Sabor:
  - Mora: 250 ml de pulpa por lote.
  - Maracuyá: 150 ml de pulpa por lote.

Para la elaboración de helados, se llevó a cabo un levantamiento de información usando un mapa de flujo de valor, evaluando la situación presente del proceso de producción.

Tabla 1

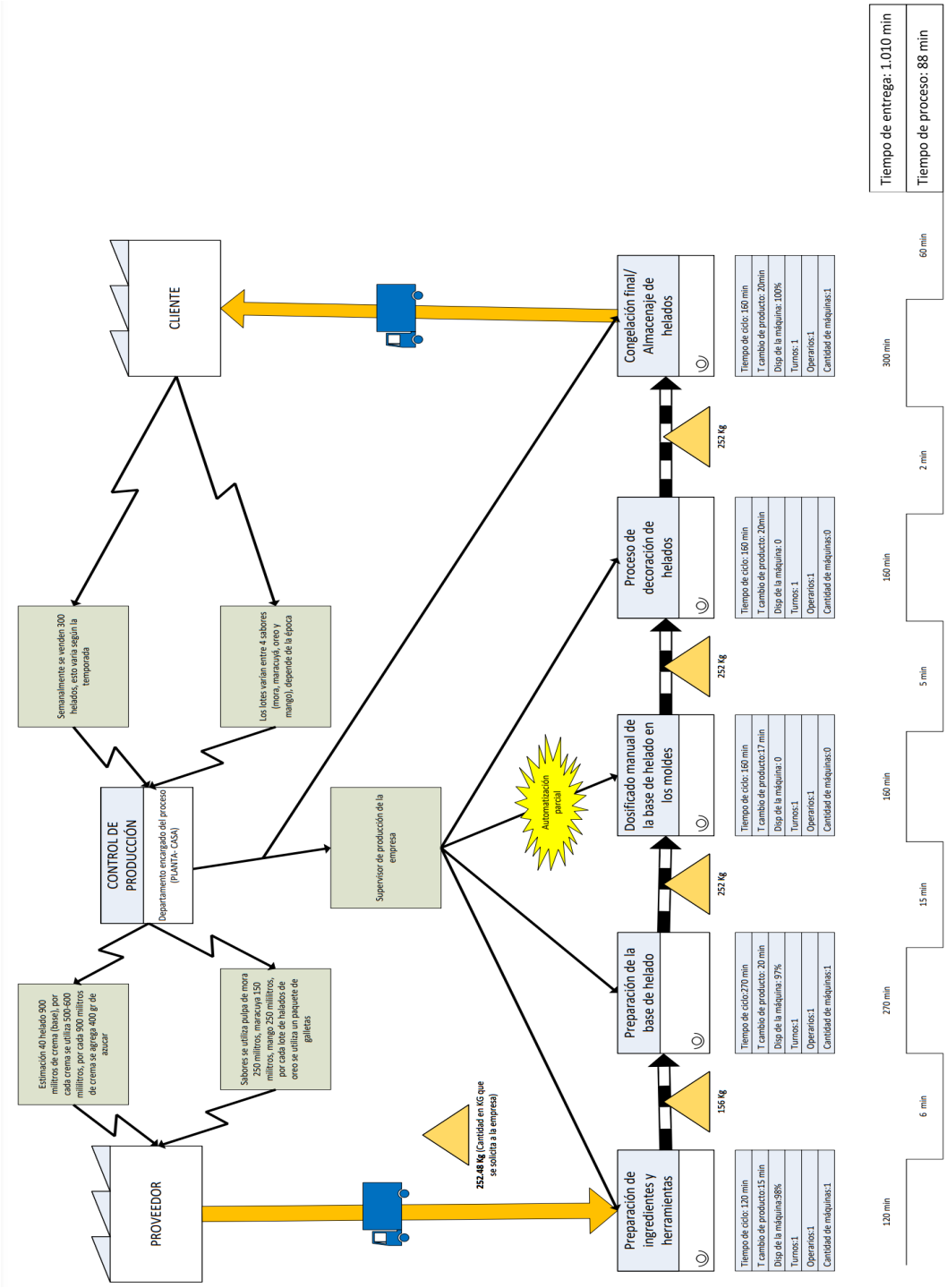
Tabla de los procesos de producción en el emprendimiento Bigotes de Leche.

	Procesos de Producción				
	Tiempo del ciclo	**Tiempo del cambio de producto**	**Disponibilidad de la máquina**	**Operador**	**Máquina**
Preparación de ingredientes y herramientas	120 min	15 min	98%	1	1
Preparación de la base de helado	270 min	20 min	97%	1	1
Dosificado manual de la base de helado en los moldes	160 min	17 min	manual	1	0
Decoración de los helados	160 min	20 min	manual	1	0

Nota: *Tiempos y disponibilidades en los diferentes procesos de producción.*

Figura 6

Gráfico organizacional de Bigotes de Leche.



Nota: *Gráfico organizacional de los procesos de producción de Bigotes de Leche.*

El estudio del sistema de producción muestra que el tiempo necesario para elaborar una unidad, conforme a las necesidades del cliente, es:

$$\text{Takt Time diario} = \frac{\text{Tiempo Disponible}}{\text{Demanda del Cliente}} \tag{6.1.1}$$

Datos:

- **Producción semanal:** 750 helados
- **Producción mensual:** 3000 helados
- **Turno:** 1 turno = 480 min/día
- **Días laborales al mes:** 20 días

$$\text{Producción diaria} = \frac{3000 \text{ helados}}{20 \text{ días laborales}} = 300\,\text{helados/día}$$

$$\text{Takt Time diario} = \frac{480}{300} = 1.6\,\text{min por helado}$$

Además, el tiempo necesario para producir una bandeja completa de productos es:

- **Tamaño de contenedor:** 40 helados
- **Takt Time:** 1.6 min/helado

$$\text{Pitch time} = 1.6 \times 40 = 64\,\text{min/bandeja} \tag{6.1.2}$$

En cambio, los periodos en los que se añade valor al producto se relacionan con:

Procesos y tiempos ciclos:

$$\text{Tiempo de las actividades de valor agregado} = \text{TC1} + \text{TC2} + \text{TC3} + \text{TC4} \tag{6.1.3}$$

$$\text{Tiempo de las actividades de valor agregado} = 710\,\text{min (VA)}$$

Hoy en día, el proceso de dosificación de la mezcla de helado se realiza manualmente por un único empleado. En la actualidad, el método manual requiere un intervalo de 160 minutos para la dosificación y 17 minutos adicionales para la alteración del producto, lo que repercute de forma considerable en la eficiencia total del procedimiento Ortega (2024). Sin embargo, el método manual revela una tasa de errores del 0.7%, lo que conlleva 35 helados con fallos semanales y hasta 140 al mes. El retraso en el procedimiento manual no solo limita la capacidad para adaptarse a las fluctuaciones de la demanda, sino que también aumenta los riesgos de contaminación cruzada, comprometiendo la seguridad alimentaria del producto final.

Ante los desafíos identificados en el método manual de dosificación, se recomienda la elaboración y implementación de un sistema mecatrónico que simplifique la gestión del proceso de mezcla de helados mediante un PLC y una interfaz HMI.

La evolución del sistema mecatrónico se fundamenta en los elementos siguientes:

- **Requisitos y variables de ingeniería:**Se establecerán criterios técnicos y normativos para dimensionar el sistema de manera adecuada, asegurando una aplicación eficiente y efectiva.
- **Diseño del sistema:** Se evaluarán y compararán diferentes propuestas de diseño, seleccionando aquella que mejor cumpla con los requisitos establecidos y potencia la productividad del proceso de dosificación.
- **Análisis de costos:** Se realizará un análisis exhaustivo de los costos asociados, incluyendo la inversión inicial en adquisición e instalación, así como los gastos operativos y de mantenimiento a largo plazo.

La implementación de este sistema permitirá a Bigotes de Leche mejorar significativamente la precisión y consistencia del dosificado, reduciendo el desperdicio de ingredientes y los tiempos de ciclo. Además, minimizará los riesgos de contaminación cruzada, fortaleciendo la seguridad alimentaria y garantizando una producción más eficiente y de mayor calidad en el competitivo mercado de helados artesanales.

6.1.2. Estudios de laboratorio

Con el fin de obtener las propiedades necesaria de la crema del helado para realizar el diseño mecánico y de control, se realizaron estudios de laboratorio usando el fungilab viscometer y las distintas muestras brindadas por el emprendimiento que permitieron obtener la siguiente información sobre los helados.

- La viscosidad
- La conductividad eléctrica

En la Figura 7 se observa la preparación de la muestra de helado en la vaso de precipitado para ser analizada por medio del viscosímetro usando un husillo seleccionado para las características del fluido. Ademas, en las Figuras 8, 9 y en las Tablas 2, 3 se puede observar los datos obtenidos tras la finalización del estudio de laboratorio.

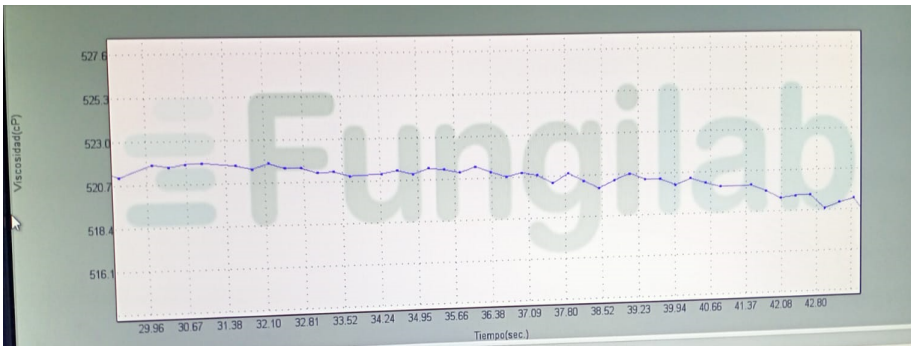
Figura 7

Pruebas de laboratorio.

Nota: *Desarrollo de las pruebas para determinar la viscosidad de la crema de helado.*

Figura 8

Gráfica Tiempo vs. Viscosidad.



Nota: *Gráfica obtenida del sabor mora en las pruebas de laboratorio, valores obtenidos de la tabla 2.*

Tabla 2

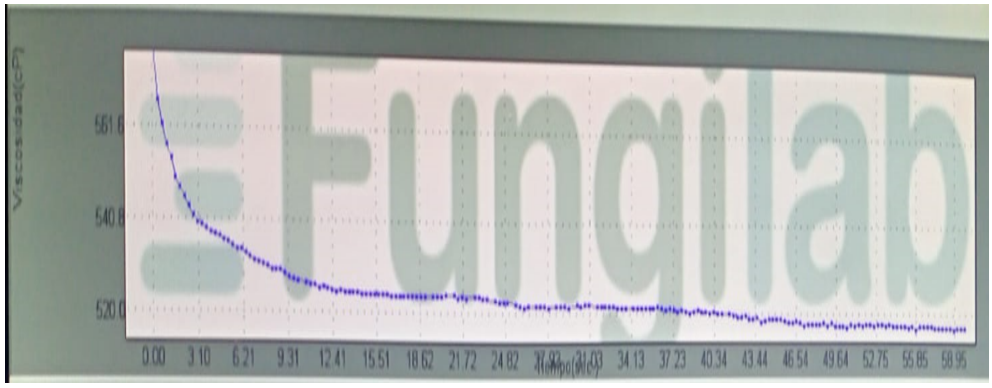
Resultados helado de mora.

	Tiempo (sec.)	Velocidad (RPM)	Viscosidad (cP)	% Torsión	Shear rate	Shear stress	Temperatura(°C)
	26.47	200	521.46	52.15	0	0	24.71
	27.07	200	521.57	52.16	0	0	24.71
	27.37	200	521.65	52.16	0	0	24.71
	27.67	200	521.46	52.15	0	0	24.74
	27.97	200	521.16	52.12	0	0	24.71
	28.57	200	521.75	52.18	0	0	24.71
	28.87	200	521.61	52.16	0	0	24.71
	29.17	200	521.45	52.15	0	0	24.71
	29.47	200	521.15	52.11	0	0	24.71
	30.07	200	521.8	52.18	0	0	24.71
	30.37	200	521.66	52.17	0	0	24.71
	30.67	200	521.81	52.18	0	0	24.71
	30.97	200	521.85	52.18	0	0	24.71
	31.57	200	521.48	52.17	0	0	24.71
	31.87	200	521.76	52.15	0	0	24.71
	32.17	200	521.5	52.18	0	0	24.71
	32.47	200	521.49	52.15	0	0	24.71
	33.07	200	521.21	52.15	0	0	24.71
Promedio	29.77	200	521.5455556	52.1583	0	0	24.71166667

Nota: *Resultados de las pruebas en el helado de sabor mora.*

Figura 9

Gráfica Tiempo vs. Viscosidad.



Nota: *Gráfica obtenida del sabor maracuyá en las pruebas de laboratorio, valores obtenidos de la tabla 3.*

Tabla 3

Resultados helado de maracuyá.

	Tiempo (sec.)	Velocidad (RPM)	Viscosidad (cP)	% Torsión	Shear rate	Shear stress	Temperatura(°C)
	26.47	200	521.46	52.15	0	0	24.71
	27.07	200	521.57	52.16	0	0	24.71
	27.37	200	521.65	52.16	0	0	24.71
	27.67	200	521.46	52.15	0	0	24.74
	27.97	200	521.6	52.16	0	0	24.71
	28.57	200	521.75	52.18	0	0	24.71
	28.87	200	521.61	52.16	0	0	24.71
	29.17	200	521.35	52.13	0	0	24.71
	29.47	200	521.15	52.11	0	0	24.71
	30.07	200	521.88	52.18	0	0	24.71
	30.37	200	521.66	52.17	0	0	24.71
	30.67	200	521.81	52.18	0	0	24.71
	30.97	200	521.85	52.18	0	0	24.71
	31.57	200	521.48	52.17	0	0	24.71
	31.87	200	521.67	52.7	0	0	24.71
	32.17	200	521.5	52.15	0	0	24.71
	32.47	200	521.49	52.15	0	0	24.71
	33.07	200	521.21	52.15	0	0	24.71
Promedio	29.77	200	521.564	52.188	0	0	24.712

Nota: *Resultados de las pruebas en el helado de sabor maracuyá.*

6.2. Diseño del prototipo mecánico para el sistema de dosificado de helado en el emprendimiento Bigotes de leche

En la siguiente sección se describen las características técnicas del sistema, los elementos fundamentales y el diseño conceptual del prototipo mecánico. Como señala Pérez (2022), "la incorporación de sistemas mecatrónicos en el sector alimentario es crucial para incrementar la competitividad y satisfacer la demanda".

6.2.1. Especificaciones Técnicas

Requisitos del Sistema de Dosificación

El sistema de dosificación debe tener la capacidad de dosificar 40 helados en un periodo máximo de 2 minutos, con una cantidad de 88.7206 ml por unidad. Es fundamental la exactitud en la dosificación para preservar la calidad del producto y minimizar el desperdicio.

Datos del Contenedor del Helado

Figura 10

Datos del Contenedor.

Nota: *La tolva de almacenamiento del helado debe tener una capacidad de 4 litros y una altura de 5 cm.*

Restricciones de Espacio

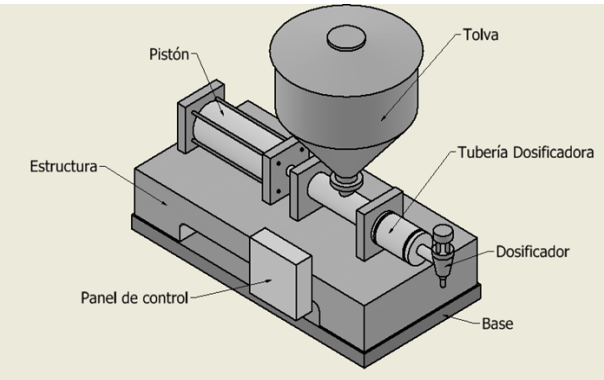
El espacio disponible para la instalación del sistema de dosificación es de 4 x 5 metros, lo que impone restricciones en el tamaño y disposición de los componentes.

6.2.2. Esbozo inicial del prototipo

Para elaborar el esquema inicial del prototipo, se empleó una matriz de decisión para elegir el diseño más apropiado de un sistema mecatrónico con el objetivo de regular el flujo de dosificación de gelatina. Se elaboraron tres sugerencias de diseño, valoradas a través de la matriz de decisión, un instrumento eficiente para la toma de decisiones que toma en cuenta varios criterios. Esta matriz posibilita llevar a cabo comparaciones imparciales entre las alternativas y un diseño de referencia, simplificando la determinación de la opción más adecuada de acuerdo a las necesidades del proyecto.

Figura 11

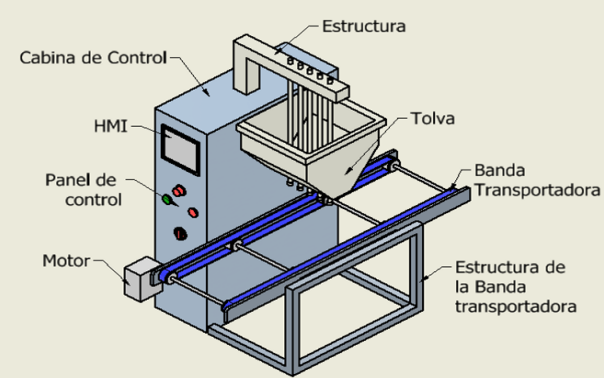
Boceto 1.



Nota: *Estructura inicial del prototipo boceto 1.*

Figura 12

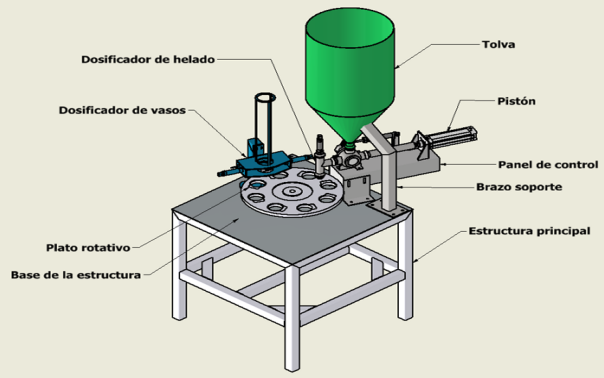
Boceto 2.



Nota: *Estructura inicial del prototipo boceto 2.*

Figura 13

Boceto 3.



Nota: *Estructura inicial del prototipo boceto 3.*

La evaluación se basó en los siguientes criterios: geometría, control de dosificación, dimensiones del módulo, mantenimiento, costo y capacidad volumétrica. Cada criterio influye de manera considerable en el desempeño y factibilidad del sistema, por lo que se tomaron en cuenta de forma holística para garantizar una elección fundamentada.

Tabla 4

Criterios utilizados para la evaluación .

DISEÑOS				
Criterios	**Ponderación**	**DISEÑO1**	**DISEÑO2**	**DISEÑO3**
1.Geometría	0,2	4	5	3
2.Control de dosificación	0,2	3	5	4
3.Dimensiones del módulo	0,2	5	3	4
4.Mantenimiento	0,1	5	4	4
5.Costo	0,3	5	4	4
7.Capacidad volumétrica	0,1	2	5	4
TOTAL	1	1	1	1
Multiplicación por ponderación		0,8	1	0,6
		0,6	1	0,8
		1	0,6	0,8
		0,5	0,4	0,4
		1,5	1,2	1,2
		0,2	0,5	0,4
Suma total		29,6	31,7	28,2

Nota: *Criterios de evaluación de todos los bocetos.*

La geometría del diseño se refiere a la forma y estructura del prototipo, lo que influye en su capacidad para integrarse en el entorno operativo y en su eficiencia mecánica. Las dimensiones del módulo se evaluaron para garantizar que el sistema se adapte al espacio disponible sin comprometer su funcionalidad. El costo del diseño incluye los gastos de fabricación, implementación y mantenimiento del sistema.

A través de la matriz de Pugh, se evaluaron los tres bocetos en relación con estos criterios, comparándolos con un diseño de referencia. Considerando el equilibrio entre los criterios, se determinó que el Boceto 2 (Figura 12) es el más adecuado para el sistema mecatrónico de control de flujo de dosificación de helado. A pesar de sus desventajas en capacidad volumétrica y control de dosificación, su menor costo y mejores dimensiones del módulo lo convierten en la opción más viable y sostenible para el emprendimiento.

Tabla 5

Selección del boceto #2.

DISEÑOS				
Criterios	**Ponderación**	**DISEÑO1**	**DISEÑO2**	**DISEÑO3**
1.Geometría	0,2	4	5	3
2.Control de dosificación	0,2	3	5	4
3.Dimensiones del módulo	0,2	5	3	4
4.Mantenimiento	0,1	5	4	4
5.Costo	0,3	5	4	4
7.Capacidad volumétrica	0,1	2	5	4
TOTAL	1	1	1	1
Multiplicación por ponderación		0,8	1	0,6
		0,6	1	0,8
		1	0,6	0,8
		0,5	0,4	0,4
		1,5	1,2	1,2
		0,2	0,5	0,4
Suma total		29,6	31,7	28,2

Nota: *Criterios por los cuales se acepto el Boceto #2.*

Para concluir, la matriz de decisión ha probado ser un recurso inestimable para elegir el boceto correcto. Se aconseja continuar con el avance del Boceto 2, indagando en incrementos en la capacidad volumétrica y el control de dosificación sin sacrificar sus principales beneficios. Además, resulta crucial llevar a cabo ensayos extra para confirmar que el diseño satisface las necesidades de operación y mantenimiento a largo plazo, asegurando la sostenibilidad y eficacia del sistema.

6.2.3. Parámetros para el diseño de la maquina dosificadora

Es necesario conocer los requerimientos iniciales, así como las distintas restricciones establecidas por el emprendimiento Bigotes de Leche, como se detalla en la Tabla 6.

Tabla 6

Requerimientos y restricciones del emprendimiento

Requerimiento del emprendimiento	
Volumen de dosificación (Abastecimiento de la tolva)	1000 a 2000 ml
Volumen decada vaso de helado	88.7206 ml
Restricciones	
Voltaje de fuente	220 V
Situación actual dentro de la empresa	
Tiempo de dosificación actual por cada vaso	15 a 20 segundos

Nota: *Requerimientos y restricciones del emprendimiento recogidos del emprendimiento.*

En la Tabla 7 se pueden observar los datos acerca de densidad de la mezcla que se va a dosificar.

Debido a que la densidad del producto puede variar según el sabor, los ingredientes, las revoluciones por minuto de la batidora y el tiempo de batido, no es posible encontrar valores específicos en tablas. Por este motivo, se llevaron a cabo pruebas de laboratorio para obtener los datos utilizando las muestras proporcionadas por el emprendimiento Bigotes de Leche.

Tabla 7

Datos en la fabricación de los helados

Sabor del helado	**Variables utilizadas para los cálculos**	**Unidad de medida**	**Mora**	**Maracuyá**
Masa del Bowl	M_b	g	520	520
	M_t	g	2018	1819
Masa helada	M_h	g	1498	1299
	V_h	ml	1800	1600
Densidad	D_h	g/ml	0.832	0.811

Nota: *Datos en la fabricación de pendiendo del sabor de helado.*

Según la fórmula de la densidad:

$$D = \frac{M}{V} \tag{6.2.1}$$

Donde:

- D = densidad [g/ml]
- M = masa [g]
- V = volumen [ml]

Obtenemos la fórmula para encontrar la masa del helado:

$$M_h = M_t - M_b \tag{6.2.2}$$

Donde:

- M_h = masa del helado [g]
- M_t = masa total [g]
- M_b = masa del Bowl [g]

Una vez obtenidas las características de los sabores de helados a dosificar, se realizó una ponderación de los datos, como se observa en la Tabla 8.

Tabla 8

Datos de densidad y peso de los helados

Producto	**Densidad** [g/ml]	**Peso** (g)
Helado de Maracuyá	0.811	1498
Helado de Mora	0.832	1299
Promedio	0.8215	1398

Nota: *Datos de densidad y peso de los helados dependiendo del sabor de helado.*

6.2.4. Selección del sistema de dosificación

Se evalúan las distintas opciones utilizando criterios de diseño (Tabla 9), identificando los aspectos clave que serán calificados según una tabla de ponderaciones asignada.

Tabla 9

Criterios de diseño

Término	**Descripción**
Fabricación	Los materiales deben ser sencillos de encontrar y también deben estar disponibles en el país.
Costo	Los precios deben ser los más accesibles para su mantenimiento y reparación.
Tecnología	El diseño del modelo debe ser lo más moderno posible.
Capacidad	Debe estimar a cerca de 45 recipientes por cada 10000 ml.
Tamaño	La prototipo debe cumplir con la disponibilidad espacial de la empresa.
Mantenimiento	Tiene que tener la capacidad de poderse armar y desarmar.

Nota: *Criterios de diseño considerados para el sistema.*

En la Tabla 10 se muestran las variables que se usaran la Tabla de ponderación:

Tabla 10

Denominaciones y variables

Variable	Significado
Opción 1	Dosificador volumétrico
Opción 2	Dosificador de pistón
Opción 3	Dosificador de servomotor
Opción 4	Dosificador de tornillo sin fin
C1	Calificación valorada sobre 10
C2	Calificación por peso asignado

Nota: *Denominaciones y variables de la tabla de ponderación.*

La calificación (C1) se asigna sobre un rango de 10, donde 0 indica un elemento de complejidad alta y 10 una baja complejidad. (C2) corresponde al producto de la calificación C1, y la alternativa con la sumatoria más cercana a 10 se considera la más adecuada en su desarrollo.

Tabla 11

Calificación asignada por cada factor de dificultad

Características		Opción 1		Opción 2		Opción 3		Opción 4	
Factor Relevante	Peso Asignado	C1	C2	C1	C2	C1	C2	C1	C2
Fabricación	0.2	7	0.7	9	0.9	9	0.9	4	0.4
Costo	0.3	3	0.9	6	2	6	1.9	3	0.7
Tecnología	0.2	5	0.7	9	1.5	6	0.9	6	1.2
Capacidad	0.1	8	1.0	9	1.0	7	0.7	7	0.7
Tamaño	0.1	6	0.6	7	0.9	8	1.0	8	0.8
Mantenimiento	0.1	7	0.7	7	0.7	10	0.9	5	0.7
Total	1		4.6		7.0		6.3		4.5

Nota: *Calificación asignada por cada factor de dificultad denotando la Opción 2 como la de menor dificultad.*

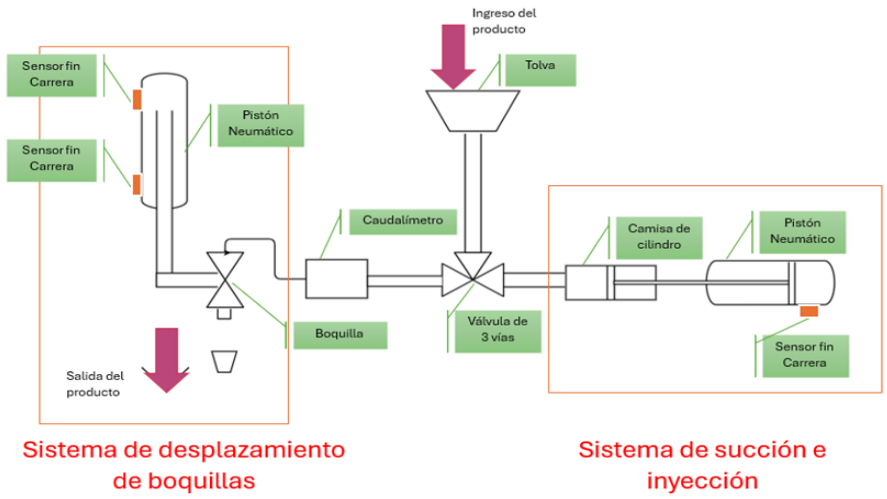
Como se muestra en la Tabla 11, se ponderaron características necesarias del sistema. Tras realizar los calculos pertinentes, se determinó que el diseño con un dosificador de pistón obtuvo un valor de 7.0, el cual es el más alto, lo que demuestra que es la más indicada en los términos anteriormente mencionados.

6.2.5. Diseño conceptual del sistema de dosificación (Sistema mediante pistones).

En la Figura 14 se presenta el prototipo del sistema, en el cual, se puede notar de manera superficial los componentes esenciales, visualizando el flujo del producto dentro del mismo.

Figura 14

Diseño conceptual



Nota: *Flujo del producto dentro de la maquina conceptualmente.*

El sistema de dosificación se divide en dos secciones: la primera enfocada en el sistema de succión e inyección, mientras que la segunda se encarga del movimiento de las boquillas.

- **Sistema de succión e inyección:** Su función consiste en recoger el helado suministrado por la tolva y posteriormente expulsarlo a través de las boquillas.
- **Sistema de desplazamiento de las boquillas:** Encargado de la inserción de las boquillas en el vaso de helado, asegurando una dosificación precisa y segura.

6.2.6. Selección de los elementos para el diseño mecánico del dosificador

Selección del Caudalímetro

Los criterios empleados para la selección del caudalímetro fueron los siguientes:

- El sistema de calibración debe exhibir un bajo requerimiento de mantenimiento.

- Asimismo, el caudalímetro debe ser compatible con todas las variedades de helado que el emprendimiento requiere dosificar.

Con el fin de cumplir los criterios antes mencionados se ha seleccionado para este sistema el caudalímetro OPTIFLUX 1300 de KROHNE, el cual es aplicable para los flujos de las mezclas de helado. Esto significa que la bomba requiere un mantenimiento mínimo. También cabe resaltar que al no haber partes móviles en contacto con el helado, disminuye el desgaste del equipo en el tiempo.

Cálculo del caudal y selección de tuberías

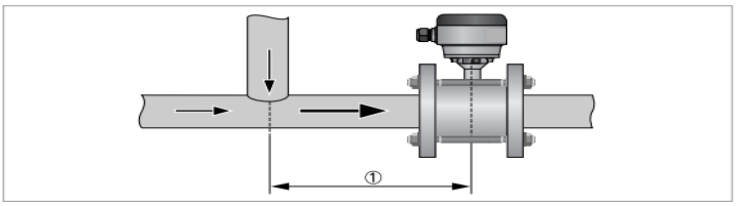
El medidor de flujo, se utilizará asegurando que el diámetro estuviera de acuerdo con los estándares establecidos en el manual del mismo, los cuales son EN1092-1 y ASME B16.5. En el Anexo 1 en la gráfica de velocidad de caudal frente a precisión se puede observar que la precisión disminuye exponencialmente por debajo de los 5 m/s y que el medidor de flujo tiene una precisión estimada del 0.5%. Mientras que la disminución se observa a partir de velocidades de hasta 30 m/s y en una precisión máxima del 0.5%.

Instalación del caudalímetro

Para el diseño mecánico se debe conocer la instalación del caudalímetro, para ello se conoce las instrucciones indicadas dentro del manual del fabricante. A detalle, se puede ver en las Figuras 15, 16 y 17 los valores y recomendaciones para esta misma tarea.

Figura 15

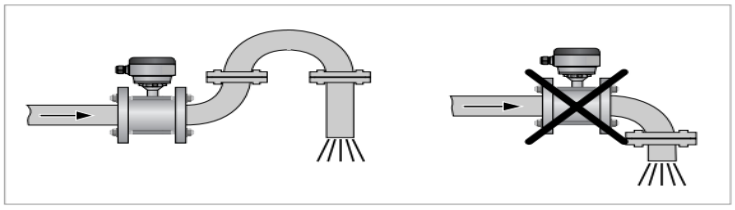
Longitud de entrada recomendada >10DN.



Nota: *Longitud de entrada recomendada* $\leq 10D_N[D_N = \text{diámetro nominal}]$*, donde la distancia debe ser 10 veces mayor al diámetro nominal. Krohne (2019)*

Figura 16

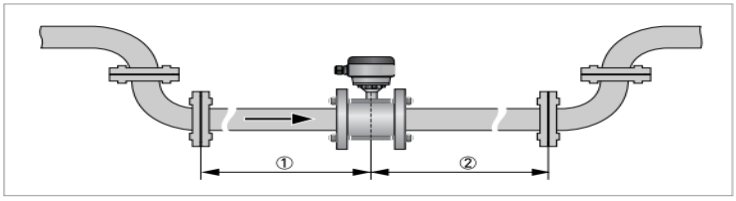
Instalación delante de una descarga abierta.



Nota: *Instalación del caudalímetro colocada antes de una descarga abierta. Krohne (2019)*

Figura 17

Longitud de salida recomendada $> 2D_N$.



Nota: *Longitud de salida recomendada* $> 2D_N$. *Krohne (2019)*

Se puede observar en el Anexo 2, en la tabla de la normativa ASME B16.5 las dimensiones recomendadas de las bridas deben estar en función del diámetro nominal del caudalímetro.

En base a lo visto, se decidió implementar codos de 1 ½" cédula 80 y bridas de 1 ½".

Diseño del sistema de succión e inyección

Para el diseño del sistema de succión e inyección, se eligió una dosificación vertical debido a que es mas eficiente en el espacio y el funcionamiento. Conforme lo anterior, la chaqueta del cilindro del sistema, se diseño con el fin del permitir la dosificación en su capacidad máxima de 2000 ml por tolva, de modo que la dosificación pueda llegar a una alta demanda y que esto no disminuya la precisión del proceso debido a los volúmenes manejados. Se analizó las perdidas del sistema con el fin de verificar la salida de la chaqueta del cilindro y la entrada de

la tubería del caudalímetro, con esto se pudo observar lo siguiente (Tabla 12):

Tabla 12

Dimensiones de la tubería para conectar al caudalímetro

Diámetro nominal	Diámetro exterior	Cédula	Espesor de tubería
1 ½"	48.3 mm	80 S	5.08 mm

Nota: *Dimensiones según la tubería recomendadas en la normativa ASME.*

Selección de la válvula

Comprendido que para el sistema de succión e inyección, la succión debe ser vertical, por otro lado, la inyección de la mezcla tiene que ser horizontal. Se ha encontrado dentro del catalogo de ESG VALVE (Anexo 3) una válvula de tres vías que cumple con los requisitos y capacidades de operación.

En el Anexo 3, se puede observar un bosquejo del funcionamiento de la válvula seleccionada, teniendo la funcionalidad de succión a través de la vía B-A, mientras que la dosificación recorre la vía A-C.

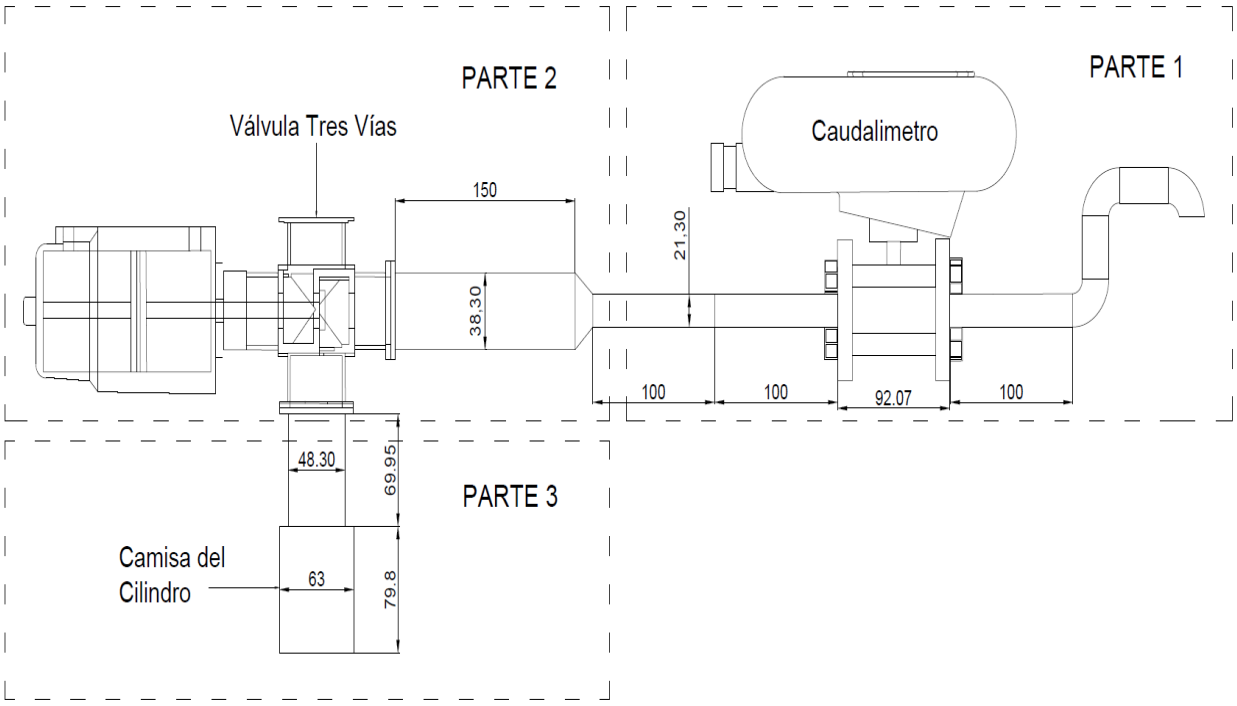
En el Anexo 3, se puede denotar la tabla "Type 3: Double Action with Normal Spring"donde se observa que la valvula de tres vias coincide con el diámetro de las tuberias anteriormente seleccionadas en el sistema de succión e inyección.

6.2.7. Modelo matemático para la selección del pistón dosificador

Para la selección del pistón dosificador, es necesario establecer la fuerza mínima requerida para lograr que el mismo cumpla con el caudal necesario. Se aplicó el principio de Bernoulli a fluidos con viscosidad, con el fin de que cumpliera con el requerimiento de carrera y de fuerza en tandém con el principio anteriormente mencionado.

Figura 18

Sistema de succión e inyección seccionado.



Nota: *Esquema del sistema de succión e inyección.*

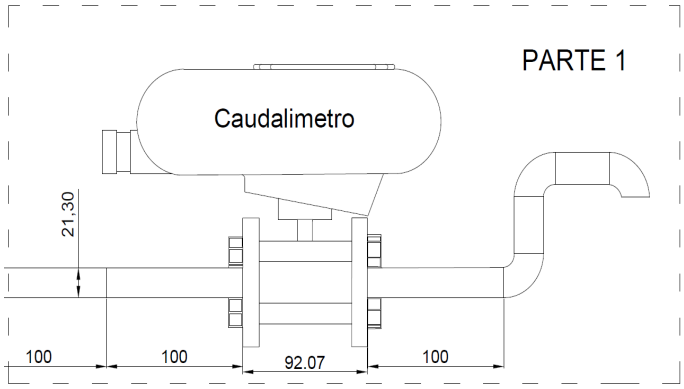
Se procedió a evaluar las pérdidas de fricción en las tuberías mencionadas en la sección anterior, así como en la camisa del cilindro. También, se analizó las perdidas generadas por los accesorios presentes en el SSI, tales como la reducción brusca, la reducción gradual y la válvula, contando también con la identificación del punto crítico de cada sección en donde se registra la mayor presión. La misma que fue obtenida mediante la Ecuación 6.2.3, que representa el principio de Bernoulli para fluidos viscosos.

$$\frac{P_1}{\gamma} + \frac{V1^2}{2g} + Z1 - hf = \frac{P_2}{\gamma} + \frac{V2^2}{2g} + Z2 \tag{6.2.3}$$

PARTE 1

Figura 19

Medidas (mm) de la línea de instalación del caudalímetro.



Nota: *Dimensiones (en mm) correspondientes a la línea de instalación del caudalímetro.*

El primer paso para llevar a cabo el análisis de la instalación del caudalímetro consiste en identificar y recopilar la información relevante del sistema.

Datos:

- La velocidad en los dos puntos es igual
  - V2 = V1 = 0.589207 m/s
- Diámetro interno del tubo (mm)
  - D = 17.57 mm
- La diferencia de alturas es de 0.05905 m
  - Z2 - Z1 = 0.05905m
- Longitud de la tubería es 472.07 mm
  - L = 0.47207 m
- Accesorios Tres codos de radio largo

Tabla 13

Propiedades del Helado.

SABOR DE HELADO	DENSIDAD [g/ml]	PESO (g)	VISCOCIDAD Pa·s
Helado de Maracuyá	0.811	1498	0,521 52
Helado de Mora	0.832	1299	0,542 52
PROMEDIO	0.8215	1398	0.532

Nota: *Propiedades físicas calculadas del helado.*

Para llevar a cabo el cálculo de la presión en el Punto 1, es importante calcular las pérdidas primarias y secundarias. Las pérdidas primarias se determinan conel uso de la Ecuación 6.2.4, determinando el factor de fricción de Darcy f, este es dependiente del número de Reynolds R_e, el cual se obtiene mediante la Ecuación 6.2.5.

$$h_p = f\frac{L}{D}\cdot\frac{V^2}{2g} \tag{6.2.4}$$

Donde:

- f = coeficiente de fricción
- L = Longitud del tubo, m
- D = Diámetro interior del tubo, m
- V = Velocidad media de circulación, m/s.
- g = Gravedad, 9,81 m/s2

$$Re = \frac{V\cdot D}{v} = \frac{p\cdot V\cdot D}{\mu} \tag{6.2.5}$$

Donde:

- V = la velocidad, m/s.
- D = el diámetro hidráulico, no obstante, en secciones transversales es igual al diámetro interno del tubo.

- μ = viscosidad,
- p = Densidad del fluido

Se calcula el número de Reynolds sustituyendo los valores en la Ecuación 6.2.5.

Tabla 14

Número de Reynold para los sabores de helados en parte 1.

SABOR DE HELADO	REYNOLS
Helado de Maracuyá	16.11
Helado de Mora	15.876

Nota: *Números de Reynold calculado para los sabores de helados en parte 1.*

Cuando el número de Reynolds es inferior a 2000, el flujo se clasifica como laminar como se puede ver en la Ecuación 6.2.6.

$$Re < 2300 \qquad \text{Flujo Laminar} \tag{6.2.6}$$

Para los flujos laminares, se empleó la ecuación de Poiseuille, presentada en la Ecuación 6.2.7, con el fin de determinar el factor de fricción f de Darcy - Weisbach.

$$f = \frac{64}{R_e} \tag{6.2.7}$$

Al reemplazar los valores de la tabla en la Ecuación 6.2.7, se procede a determinar el factor de fricción f que corresponde a cada uno de los sabores de helado.

Tabla 15

Factores de fricción de los sabores de helado en parte 1.

SABOR DE HELADO	F POISEUILLE
Helado de Maracuyá	3.972
Helado de Mora	4.031

Nota: *Factores de fricción calculado de los sabores de helado en parte 1.*

Al aplicar los valores de la Tabla 13 en la Ecuación 6.2.4, se obtienen las pérdidas primarias.

Tabla 16

Pérdidas primarias de los sabores de helado en parte 1.

SABOR DE HELADO	$h_p(m)$
Helado de Maracuyá	$3.2048x10^{-3}$
Helado de Mora	$3.2522x10^{-3}$

Nota: *Pérdidas primarias calculadas de los sabores de helado en parte 1.*

Una vez que se ha calculado las pérdidas primarias, se procede a determinar las pérdidas secundarias, empleando la Ecuación 6.2.8.

$$h_s = K \cdot \frac{V^2}{2g} \tag{6.2.8}$$

En la instalación del caudalímetro se identifican tres codos de radio largo. La constante de pérdidas por accesorios K se determina a partir de la Figura 20 del libro "Mecánica de Fluidos"de White (2008), obteniendo como resultado un valor de $K = 1$.

Figura 20

Constantes K de pérdidas por accesorios.

	Diámetro nominal, in								
	Roscado				Acoplado				
	½	1	2	4	1	2	4	8	20
Válvulas (abiertas):									
Esférica	14	8.2	6.9	5.7	13	8.5	6.0	5.8	5.5
Compuerta	0.30	0.24	0.16	0.11	0.80	0.35	0.16	0.07	0.03
De retención	5.1	2.9	2.1	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
Angulo	9.0	4.7	2.0	1.0	4.5	2.4	2.0	2.0	2.0
Codos:									
45° normal	0.39	0.32	0.30	0.29					
45° suave					0.21	0.20	0.19	0.16	0.14
90° normal	2.0	1.5	0.95	0.64	0.50	0.39	0.30	0.26	0.21
90° suave	1.0	0.72	0.41	0.23	0.40	0.30	0.19	0.15	0.10
180° normal	2.0	1.5	0.95	0.64	0.41	0.35	0.30	0.25	0.20
180° suave					0.40	0.30	0.21	0.15	0.10
Tes:									
Flujo directo	0.90	0.90	0.90	0.90	0.24	0.19	0.14	0.10	0.07
Flujo lateral	2.4	1.8	1.4	1.1	1.0	0.80	0.64	0.58	0.41

Nota: *Constantes K de pérdidas por accesorios obtenido del libro de White (2008).*

Al reemplazar el valor de K en la Ecuación 6.2.8, se procede a calcular las pérdidas correspondientes a los tres codos.

$$h_s = 0.053m$$

Finalmente, al llevar a cabo la simplificación de la Ecuación 6.2.3 correspondiente a la Parte 1, se llega a la Ecuación 6.2.9.

$$\frac{P_1}{\gamma} - h_p - h_s = Z_2 - Z_1 \tag{6.2.9}$$

Al sustituir los datos iniciales de Z2 - Z1 y los valores obtenidos de h_p y h_s, se elabora la Tabla 17, la cual nos muestra los valores de las presiones en el Punto 1 para cada uno de los sabores de helado.

Tabla 17

Presión de dosificación.

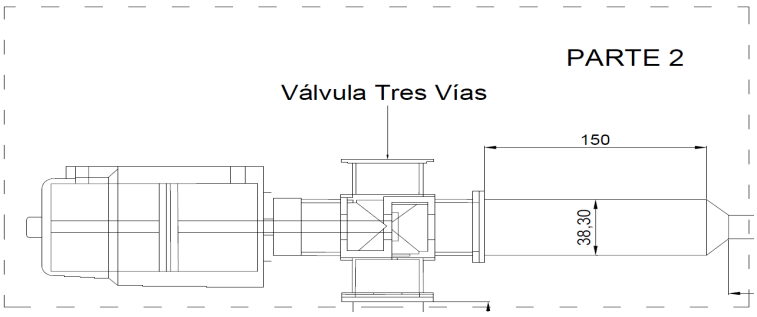
SABOR DE HELADO	Presión P1 (MPa)
Helado de Maracuyá	0.05446561
Helado de Mora	0.04269361

Nota: *Presión de dosificación calculada en el Punto 1.*

PARTE 2

Figura 21

Dimensiones de tuberías donde se ubica válvula tres vías.



Nota: *Dimensiones de las tuberías en las que se encuentra ubicada la válvula de tres vías..*

La parte siguiente del análisis implica la selección de las tuberías asociadas a la válvula. Para evaluar adecuadamente del sistema, es necesaria la Figura 21 la cual denota la información correspondiente a las longitudes de las tuberías.

Datos:

- Velocidad 2 por determinar
  - V2 = ?
- Velocidad 1 es igual a la velocidad en la parte 1
  - V1 = 0.589207 m/s
- Longitud de la tubería es 219.95 mm
  - L = 219.95 mm
- Accesorios
  - Válvula de tres vías
  - Pérdidas por reducción gradual

Para llevar a cabo el cálculo de la presión en el Punto 2, es necesario calcular la velocidad del fluido, la misma se determina empleando la ecuación 6.2.10, teniendo en cuenta el diámetro interno de la tubería, de acuerdo con la normativa ASME B36. 19.

$$V_2 = \frac{4Q}{\pi \cdot D^2} \tag{6.2.10}$$

$$Q = \frac{0.44\ l}{5s} = 0.088\ \frac{m^3}{s}$$

$$V_2 = 0.059x10^{-3}\frac{m}{s}$$

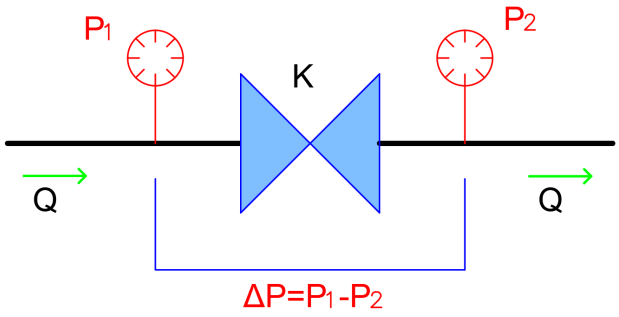
Se procede al cálculo de las pérdidas en la válvula de tres vías. Para esto se necesita conocer el coeficiente de caudal Kv_{A-C} en la vía de dosificación.

$$Kv_{A-C}=26.6\frac{m^3}{h}$$

El coeficiente de caudal Kv_{A-C} se emplea para establecer la relación entre el caudal de la válvula y la diferencia de presión en cada una de sus salidas.

Figura 22

Caída de presión en una válvula.



Nota: *Caída de presión en una válvula en cada una de sus salidas.*

Mediante la Ecuación 6.2.3 se llevo a cabo el análisis del esquema mostrado en la Figura 22.

$$-h_f = \frac{\Delta P}{\gamma} + \Delta Z \tag{6.2.11}$$

Con las dimensiones de la válvula, se obtiene ΔP. Por consiguiente, es necesario calcular la variación de presión empleando la Fórmula 6.2.12. Se utilizó el coeficiente de caudal Kv_{A-C} proporcionado por el fabricante de la válvula.

$$Q = K_v \cdot \sqrt[2]{\frac{-\Delta P}{\gamma}} \tag{6.2.12}$$

$$\gamma\left(\frac{Q}{K_v}\right)^2 = -\Delta P$$

Calculamos las pérdidas:

$$h_{s1} = \frac{P_1 - P_2}{\gamma} + (Z_1 - Z_2)$$

$$h_{s1} = 0.0576\ m$$

Tabla 18

Pérdidas generadas en la válvula.

SABOR DE HELADO	Pérdidas por la válvula tres vías (m)
Helado de Maracuyá	0.0576
Helado de Mora	0.0576

Nota: *Pérdidas generadas en la válvula de tres vías en base a los calculos anteriores.*

Se ha utilizado la Figura 19 obtenida del libro guía White (2008), para poder cuantificar las pérdidas ocacionadas por el cono de reducción. En el mismo libro, se obtiene la constrante de pérdidas para distintos ángulos de reducción.

Tabla 19

Coeficiente K en contracción gradual.

Ángulo de contracción 2 θ, grados	30	45	60
K en contracción gradual	0.02	0.04	0.07

Nota: *Coeficiente K en contracción gradual calculado en base al libro guía White (2008).*

Se sustituye el coeficiente K, obtenido en la Tabla 19, en la ecuación 6.2.8, tal como se presenta a continuación:

$$h_{s2} = K\frac{V_1^2}{2g} h_{s2} = 0.00123\ m$$

Se calcula el numero de Reynolds mediante el uso de la Ecuación 6.2.5.

Tabla 20

Número de Reynold para los sabores de helados en parte 2.

SABOR DE HELADO	REYNOLS
Helado de Maracuyá	2.53
Helado de Mora	3.24

Nota: *Número de Reynold para los sabores de helados en parte 2.*

Posteriormente, se procede al cálculo del factor de fricción de Darcy f empleando la Ecuación 6.2.7.

Tabla 21

Factores de fricción de los sabores de helado en parte 2

SABOR DE HELADO	F POISEUILLE
Helado de Maracuyá	25.29
Helado de Mora	19.75

Nota: *Factores de fricción de los sabores de helado en parte 2.*

Al aplicar los valores de la Tabla 21 a la ecuación 6.2.13, se determinaron las pérdidas primarias.

$$h_p = f\frac{L}{D} \cdot \frac{V^2}{2g} \tag{6.2.13}$$

Tabla 22

Pérdidas primarias de los sabores de helado en parte 2

SABOR DE HELADO	h_p (m)
Helado de Maracuyá	0.012
Helado de Mora	0.0093

Nota: *Pérdidas primarias de los sabores de helado en parte 2.*

Finalmente, se despeja la presión de la ecuación 6.2.3, obteniendo la ecuación 6.2.14. Se procede a reemplazar los datos obtenidos y a calcular la presión para cada uno de los sabores.

$$P_1 = \left(\frac{P_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} + Z_2 - \frac{V_1^2}{2g} - Z_1 + h_p + h_{s1} + h_{s2}\right) \cdot \gamma \tag{6.2.14}$$

Tabla 23

Resultados de presión en la parte 2

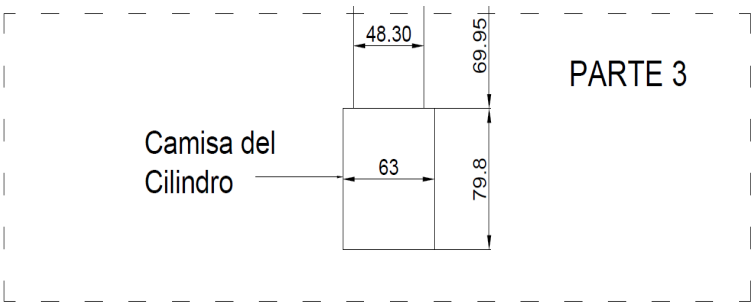
SABOR DE HELADO	Presión P1 (MPa)
Helado de Maracuyá	0.0525802
Helado de Mora	0.0482785

Nota: *Resultados de presión en la parte 2.*

Parte 3

Figura 23

Cambio brusco de diámetro entre camisa de cilindro y resto de tubería.



Nota: *Cambio brusco de diámetro entre camisa de cilindro y resto de tubería.*

En la Tabla 21 se ven las pérdidas secundarias ocasionadas por una contracción brusca. Es necesario determinar la velocidad del fluido en la camisa del cilindro, empleando la ecuación 6.2.10:

$$V_1 = 5.6928 \times 10^{-6} \frac{m}{s}$$

La ecuación 6.2.15 del libro Guía White (2008) proporciona el método adecuado para calcular el coeficiente de pérdidas para una contracción brusca.

$$K_{cb} = 0.42 \left(1 - \frac{d^2}{D^2}\right) \tag{6.2.15}$$

Donde:

- K_{cb} = Coeficiente de pérdidas
- D = Diámetro mayor (diámetro interno de la camisa de cilindro)
- d = Diámetro menor (diámetro interno de la tubería 1 ½")

Se establece el valor del coeficiente $K_{cb} = 0.1731$. Este coeficiente se sustituye en la ecuación 6.2.8, lo que permite calcular las pérdidas asociadas a una reducción brusca.

$$h_s = 5.0022x10^{-6}\ m$$

La Tabla 24 presenta de manera detallada los nú meros de Reynolds, el factor de fricción y las pérdidas primarias correspondientes a cada uno de los productos.

Tabla 24

Factor de fricción y pérdidas primarias en parte 3

	Reynols	Tipo de flujo	F Poiseville	H_p (m)
Maracuyá	1.9339x10^(-4)	Laminar	330067.04	0.107
Mora	2.4866x10^(-4)	Laminar	257379.55	0.083

Nota: *Factores de fricción y pérdidas primarias en parte 3.*

Finalmente, se procedió a la sustitución de los datos obtenidos en la Ecuación 6.2.13, lo que permitió determinar las presiones requeridas en la base de la camisa del cilindro, tal como se presenta en la Tabla 25.

Tabla 25

Presión requerida en la base de la camisa de cilindro

	Presión (Pa)
Maracuyá	1050.21
Mora	814.77

Nota: *Presión requerida en la base de la camisa de cilindro.*

Mediante la aplicación de la Ecuación 6.2.16 y teniendo en cuenta el área de la base de la camisa del cilindro, se logró determinar la fuerza mínima requerida por el pistón dosificador para cada uno de los productos analizados. La Tabla 25 presenta de manera detallada los resultados obtenidos.

$$F = P \cdot A \tag{6.2.16}$$

Donde:

- F = Fuerza requerida (N)
- P = Presión (Pa)
- A = Área del cilindro (m^2)

$$A = \pi \cdot \left(\frac{D}{2}\right)^2 \tag{6.2.17}$$

$$A = 3.1172x10^{-3}$$

Tabla 26

Fuerza mínima requerida por el pistón dosificador

	Fuerza requerida por un pistón (N)
Maracuyá	3.27
Mora	2.53

Nota: *Fuerza mínima requerida por el pistón dosificador.*

Selección del pistón dosificador

Para la selección del pistón dosificador, se consideró la mayor fuerza requerida, así como diversos criterios adicionales relevantes para dicha selección.

Las especificaciones exigidas en el pistón dosificador que cumplen con los criterios mencionados anteriormente son:

- Carrera del pistón en la camisa del cilindro: 70.8 mm
- Fuerza requerida: 3.27 N

Se realizó una revisión del catálogo de cilindros neumáticos de doble efecto Festo, seleccionándose posteriormente los cilindros DNC normalizados Festo (2023). Asi mismo, se optó por un émbolo de 40 mm de diámetro, el cual genera una fuerza teórica de 633 N en las fases de avance y retroceso a una presión de 6 bares. En el Anexo 4 se muestra el cilindro neumático Festo DNC 40-80, el cual satisface todos los requisitos del sistema de dosificación.

6.2.8. Selección de Materiales

La selección de materiales es un factor crítico para el éxito o el fracaso de este proyecto. Por lo tanto, se debe realizar una selección detallada y técnica del material utilizado en el diseño. Se trata de un estudio extenso de las propiedades físicas y químicas de este metal.

Selección de materiales para contacto directo con el helado

De acuerdo con la European Hygienic Engineering and Design (EHEDG), los aceros inoxidables proporcionan una notable protección contra la corrosión y, por consiguiente, son de uso extensivo en la industria alimentaria.

El acero AISI-304 se considera la opción más habitual dentro del sector alimenticio debido a sus características. Sin embargo, en el contexto ecuatoriano, este acero no se encuentra disponible de manera comercial; por lo tanto, se ha optado por utilizar el acero inoxidable AISI-316, que presenta propiedades similares. A continuación, se detallan dichas características:

Tabla 27

Características del material escogido.

Propiedades mecánicas:	Resistencia a la fluencia 310 MPa (45 KSI)
	Resistencia máxima 620 MPa (90 KSI)
	Elongación 30% (en 50 mm)
	Reducción de área 40%
	Módulo de elasticidad 200 GPa (29000 KSI)
Propiedades físicas:	Densidad $7.8g/cm^3(0.28lb/in^3)$
Propiedades químicas:	0.08% C min
	2.00% Mn
	1.00% Si
	18.0 – 20.0% Cr
	8.0 – 10.5% Ni
	0.045% P
	0.03% S

Nota: *Características del material escogido.*

6.2.9. Diseño mecánico de los elementos de la máquina dosificadora

Para llevar a cabo la construcción y el ensamblaje de la máquina dosificadora, es imperativo identificar cada uno de los componentes que la conforman. A continuación, se presenta un desglose de las partes constitutivas de la máquina, junto con su correspondencia con los requisitos necesarios para su elaboración.

TOLVA

Para el proceso de dosificación, es fundamental fundamentarse en los requisitos establecidos por el emprendimiento, en los cuales se estipula que la tolva debe contar con una capacidad de 2 litros por cada tolva para la mezcla.

Requerimientos de la tolva de alimentación

El diseño de la tolva y la determinación del espesor del material se basa inicialmente en la densidad de la sustancia que se pretende dosificar, en este escenario, el helado de crema. Es crucial destacar que la densidad del helado de crema no es invariable, pues cambia

dependiendo del tiempo de batido y del gusto, y se ve afectada por la composición de los ingredientes empleados. Por este motivo, se realizó pruebas de laboratorio utilizando dos sabores de helado, obteniendo los valores mostrados en la Tabla 28 .

Tabla 28

Datos de los helados para el diseño de la tolva.

PRODUCTO DENSIDAD	g/m^3	PESO [kg]
Helado de Maracuyá	0.811	1.498
Helado de Mora	0.832	1.299
PROMEDIO	0.8215	1.398

Nota: *Datos de los helados para el diseño de la tolva.*

Con la tabla obtenida previamente, podemos concluir que la tolva debe ser capaz de soportar un peso promedio de 2. 796 Kg, o en su defecto, 3 Kg, correspondiente al peso del helado. Esto se debe a que el peso se incrementa en el doble de los valores establecidos durante las pruebas.

Diseño matemático de la tolva

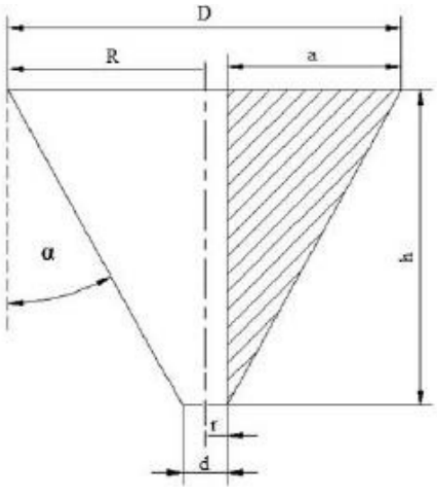
Para el diseño de la tolva, se utilizarán las variables que han sido definidas como:

- Volumen la tolva de 2000 cm^3
- Diámetro inferior de 45 mm $\rightarrow$ 4.5 cm
- Densidad del helado de 0.8215 g/m^3

Se utiliza la fórmula correspondiente al volumen de un cono truncado, tal como se ilustra en la Figura 24. Se establece la relación entre la altura y los radios mediante la tangente del ángulo alfa, conforme a la ecuación (6.2.18), procediendo posteriormente a despejar la altura y a expresar la ecuación en función de los radios. A continuación, se sustituye la altura en la ecuación (6.2.19).

Figura 24

Dimensiones básicas de la tolva.



Nota: *Dimensiones básicas de la tolva. Gómez (2014)*

$$\tan \propto \; = \; \frac{a}{h} = \frac{R-r}{h} \tag{6.2.18}$$

Donde:

- $\propto$ = Ángulo del triángulo rectángulo (30°)
- a = Cateto opuesto al ángulo $\propto$ [cm]
- h = Altura o cateto adyacente del ángulo $\propto$ [cm]
- R = Radio superior de la tolva [cm]
- r = Radio inferior de la tolva [cm]

Despejamos h de la ecuación (6.2.18)

$$h = \frac{R-2.25}{\tan 30°} \tag{6.2.19}$$

$$V_{tolva} = \frac{\pi h}{3}\left(R^2 + r^2 + R \cdot r\right) \tag{6.2.20}$$

Donde:

- V_{tolva} = Volumen de la tolva $[cm^3]$
- h = Altura de la tolva [cm]
- R = Radio superior de la tolva [cm]
- r = Radio inferior de la tolva [cm]

$$R^3 = \frac{3 \cdot \tan 30^\circ \cdot V_{tolva}}{\pi} + r^3 \tag{6.2.21}$$
$$R = 10.36\ cm$$

Al resolver la ecuación en términos de los radios, se procede a sustituir el valor del radio superior de la tolva en la ecuación (6.2.20) con el fin de determinar la altura de la misma. El resultado obtenido es el siguiente:

$$h = 14.04\ cm$$

A continuación, se sustituyen los valores obtenidos en la Ecuación 6.2.20, y se verifica que los resultados obtenidos sean los apropiados para la provisión de 2 litros de helado.

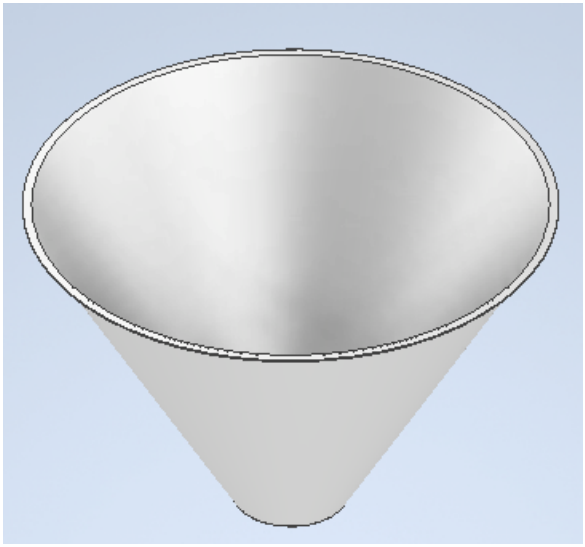
$$V_{tolva} = 1995.1809\ \text{cm}^3 \approx 1.995\ \text{litros}$$

Análisis del peso real de la tolva por el coeficiente de seguridad

Para el análisis del factor de seguridad, se utilizará un software especializado en el diseño de componentes mecánicos que opera mediante el método de elementos finitos. En primera instancia, se procederá a modelar la tolva con las dimensiones previamente determinadas, utilizando un software de diseño asistido por computadora (CAD). En lo que respecta a su fabricación, se optará por una chapa con un espesor de 0. 7 mm, dado que espesores inferiores complican la ejecución de la soldadura a tope.

Figura 25

Diseño de la tolva.



Nota: *Diseño de la tolva hecho empleando un software de diseño asistido por computadora (CAD).*

Con el diseño de la tolva realizado en CAD, se procedió a realizar un análisis del factor de seguridad, teniendo en cuenta el peso del helado y el coeficiente de seguridad previamente establecido.

- Se emplea un coeficiente de seguridad de 1.5 (porque 1.5)
- Se conoce que el peso del helado total es aproximadamente de 3 Kg
- Por lo tanto, el peso real que tendrá que soportar la tolva es de:

$$\text{Peso real} = 3\,\text{kg} \cdot 1.5 = 4.5\,\text{kg}$$

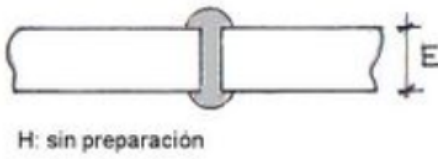
Se ha determinado que dos litros de helado tienen un peso de 4. 5 kg, el cual representa la carga que la tolva deberá soportar.

Diseño estático para el proceso de soldadura de la tolva

Se realizó un diseño estático con el propósito de comprobar que la soldadura no presentará fallos como consecuencia de los esfuerzos generados por el fluido en las paredes de la tolva. Asimismo, se considera que la calidad de la soldadura podrá ser evaluada de acuerdo con la norma AWS D1. 6-D1. 6M-2017.

Figura 26

Soldadura a tope sin preparación de junta.



Nota: *Soldadura a tope sin preparación de junta (Constumática).*

$$F_l = \frac{P \cdot d_p \cdot h}{2} \tag{6.2.22}$$

Donde:

- F_l = Fuerza longitudinal a través de las paredes de la tolva [N]
- P = Presión interna del fluido [Pa]
- d_p = Diámetro promedio de la tolva [m]

El diámetro promedio (d_p) de la tolva es:

$$d_p = \frac{\text{Diámetro inferior} + \text{Diámetro Superior}}{2} \tag{6.2.23}$$

$$d_p = 0.0743m$$

h = Altura de la tolva [m] = 0.1404 m

$$F_l = \ 0.59 \ N$$

La fuerza longitudinal que ejerce influencia sobre las paredes de la tolva se estima en aproximadamente 0. 59 N.

Esfuerzo normal medio

$$\sigma_l = \frac{F}{h \cdot l} \tag{6.2.24}$$

Dónde:

- σ_l = Esfuerzo normal medio [Pa]
- F= Carga de tensión o compresión [N]
- h= Media de la garganta 0.0007 m
- l= Longitud de la soldadura

$$l = \pi \cdot \sqrt{r_{inf}^2 + h^2} + \pi \cdot \sqrt{r_{sup}^2 + h^2} \tag{6.2.25}$$

Donde:

- $r_{inf} = 0.0225m$ $(radio\ inferior)$
- $r_{sup} = 0.0518m$ $(radio\ superior,\ d_{sup}/\ 2)$
- $h = 0.1404m$ $(altura\ de\ la\ tolva)$

Se sustituyen los valores en la Ecuación 6.2.25, lo que nos permite obtener el resultado correspondiente a la longitud de la soldadura:

$$l = 0.917\ m$$

Posteriormente, se procede a reemplazar los valores en la Ecuación 6.2.24 para determinar el esfuerzo normal medio.

$$\sigma_l = 9.1914X10^{-4}\ [MPa]$$

Esfuerzo medio a cortante

$$\tau = \frac{F}{h \cdot l} \tag{6.2.26}$$

Dónde:

- $\boldsymbol{\tau}$ = Esfuerzo cortante medio, [Pa]
- $\tau = 4.5826X10^{-6}\ [MPa]\tau_{adm} = 0.4 \cdot S_y$

Donde:

- τ_{adm} = Esfuerzo cortante admisible [Mpa]
- S_y = Límite de fluencia 289 [Mpa] $\rightarrow$ AISI 304
- $\tau_{adm} = 115.6\ MPa$

$$\tau_{adm} \geq \tau_{req}$$

Donde:

- τ_{adm} = Esfuerzo cortante admisible [Mpa]
- τ_{req} = Esfuerzo cortante requerido o calculado [Mpa]

$$115.6 \geq 4.5826X10^{-6}$$

$$\sigma_{adm} = 0.6 \cdot S_y$$

Donde:

- σ_{adm} = Esfuerzo a tensión admisible [Mpa]

$$\sigma_{adm} = 0.6 \cdot 289\sigma_{adm} = 173.4$$

$$\sigma_{adm} \geq \sigma_{req}$$

Donde:

- σ_{adm} = Esfuerzo a tensión admisible [Mpa]
- σ_{req} = Esfuerzo a tensión requerido o calculado [Mpa]

$$173.4 \geq 4.5826X10^{-6}$$

El diseño de la soldadura, tanto para esfuerzos de tensión como para esfuerzos de corte, se sitúa por debajo del límite permisible, lo cual asegura el cumplimiento de ambas condiciones de soldadura en un material de 0. 7 mm.

6.2.10. Diseño del sistema para el desplazamiento vertical de las boquillas de dosificación

Antes de proceder al diseño mecánico del desplazamiento, es fundamental conocer los componentes necesarios para su correcto funcionamiento.

Elección de las boquillas de dosificaron

Con el fin de seleccionar el diseño más apropiado, se procederá al análisis de dos tipos de boquillas de dosificación: las boquillas de salida recta y las boquillas de corte automático. La evaluación de dichos diseños se llevará a cabo mediante el uso de una matriz de decisión.

Tabla 29

Matriz de decisión para el tipo de boquillas.

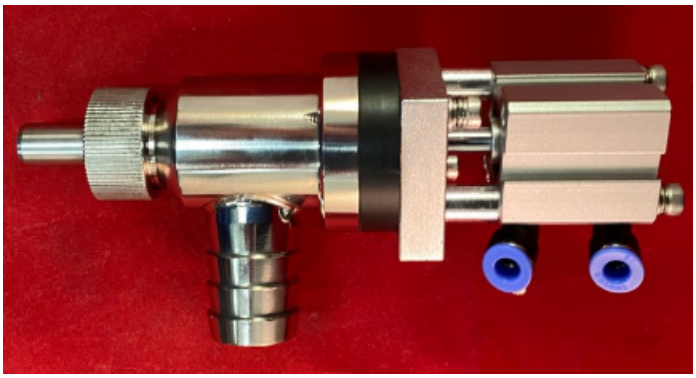
ELECCION DE BOQUILLAS DE DOSIFICACION				
			ELECCION 1	ELECCION 2
Criterios	Ponderación	Importancia	Boquillas de salida recta	Boquillas de corte automático
1.Costo	0.3	1	5	3
2.Precision	0.25	2	3	5
3.Mantenimiento	0.2	3	5	4
4.Prevencion de goteo	0.15	4	2	5
5.Compatibilidad	0.10	5	5	4
TOTAL	1			
Multiplicación por ponderación			1.5	0.9
			0.75	1.25
			1	0.8
			0.3	0.75
			0.5	0.4
Suma total			24.05	25.1

Nota: *Matriz de decisión para el tipo de boquillas dependiendo de los criterios de cada elección.*

Luego del estudio detallado de la matriz de decisión, se determina que ambas opciones son factibles. Sin embargo, la boquilla de corte automático muestra un ligero beneficio por su mayor exactitud y habilidad para evitar el goteo, aunque su precio es más elevado y demanda un mantenimiento más riguroso. Una vez escogida la clase de boquilla, se llevará a cabo la evaluación de modelos y marcas para su incorporación en la dosificadora.

Figura 27

Boquilla de llenado de la marca E-PAK de YIYIBYUS.



Nota: *Boquilla de llenado de la marca E-PAK de YIYIBYUS.*

Tabla 30

Características generales de la boquilla de llenado brindadas por el fabricante.

CARACTERISTICAS GENERALES	
Cabezal de llenado para:	Rellenos de 60 ml a 250 ml
Espiga para manguera:	3/4"
Tamaño de la rosca de la punta de la boquilla:	18 mm
Punta de boquilla de 12 mm:	2062-003
Punta de boquilla de 10 mm:	2062-001
Control de flujo:	2019-104
Punta de boquilla de 8 mm:	2062-013
Punta de boquilla de 8 mm:	2062-011
Cilindro:	PNU-CL-20MM-20MM-1
Peso:	1,1125 libras

Nota: *Características generales de la boquilla de llenado brindadas por el fabricante.*

Sistema de calibración de altura del sistema de desplazamiento vertical de las boquillas de dosificación

Se eligió el diseño de un mecanismo de tornillo de avance, constituido por dos ejes roscados, con el propósito de sostener los componentes. Estos son capaces de rotar de manera sincronizada mediante un sistema de transmisión de potencia, lo que permite el ajuste preciso de la altura final de las boquillas.

A continuación, se llevó a cabo un análisis de los esfuerzos experimentados por la estructura como resultado del peso de los componentes, con el fin de verificar la idoneidad del diámetro de los ejes roscados.

Diseño del sistema de transmisión de potencia para el dosificador vertical

Para lograr un movimiento sincronizado entre los ejes roscados, fue imperativo seleccionar un sistema de transmisión de potencia que no presentara deslizamiento, con el objetivo de prevenir desnivelaciones ocasionadas por un movimiento asíncrono. La potencia transmitida se deriva de la fuerza humana. La potencia de transmisión fue estimada a partir de un estudio realizado en la Pontificia Universidad Javeriana y N.Delgado (2014).

El proceso de elección de la cadena y las catalinas se fundamentó en el manual de SKF SKF (2016).

Utilizando la ecuación 6.2.27 para el cálculo de la potencia, se asumió que la manivela será operada a una velocidad de 25 RPM.

$$P = \tau \cdot \omega \tag{6.2.27}$$

El torque se determina mediante la ecuación 6.2.28, empleando el brazo de palanca. Este procedimiento posibilita el cálculo de la potencia de diseño.

$$\tau = F \cdot r \tag{6.2.28}$$

$$r = 136mm = 0.136m$$

$$\omega = \ 2,618\frac{rad}{s}$$

$$\tau = 24.072 \ N \cdot m$$

$$P = 24.07 \cdot 2.618 = 63.07 \ \ Watts$$

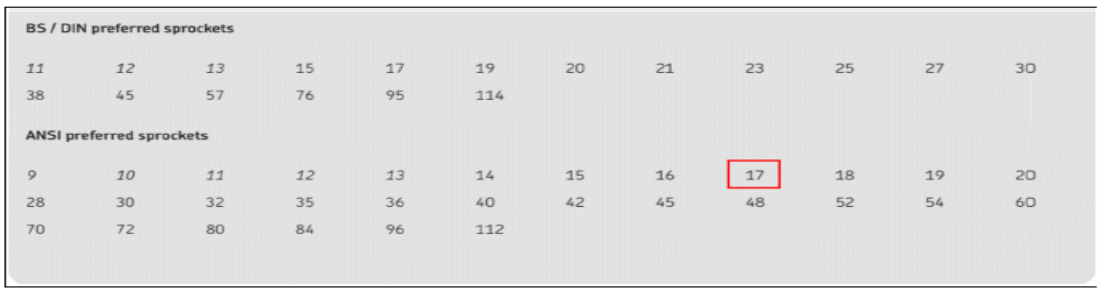
Para diseñar un sistema más conservador, se seleccionó una potencia de 100 Watts.

Elección de las cadenas y catalinas para la transmisión de potencia

Para la selección de las catalinas, el fabricante aconseja optar por aquellas que posean un número de dientes superior a 14, dado que las catalinas con una cantidad reducida de dientes tienden a experimentar un mayor desgaste. Por esta razón, en la Figura 28 se han elegido las catalinas ANSI de 17 dientes.

Figura 28

Número de dientes estándares en catalinas.



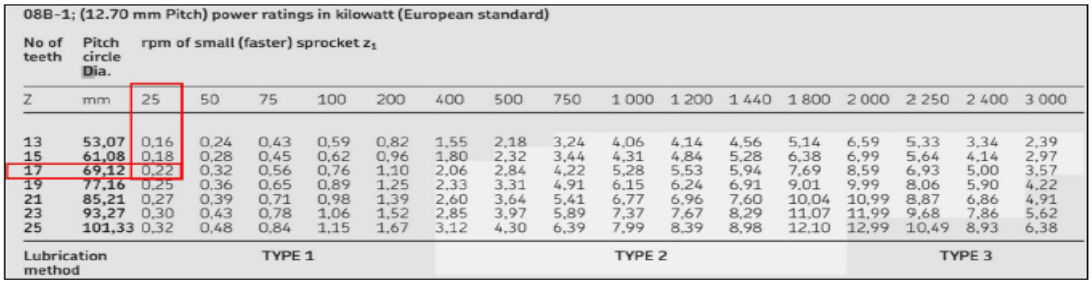
BS / DIN preferred sprockets											
11	12	13	15	17	19	20	21	23	25	27	30
38	45	57	76	95	114						
ANSI preferred sprockets											
9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
28	30	32	35	36	40	42	45	48	52	54	60
70	72	80	84	96	112						

Nota: *Número de dientes estándares en catalinas ANSI.*

Dado que el sistema requiere la sincronización de movimientos en ambos ejes, es imperativo establecer una relación de velocidades de 1:1. La Figura 29 ilustra la potencia transmitida por una catarina de la familia 08B-1, la cual, a una velocidad de 25 RPM y utilizando una catarina de 17 dientes, permite transmitir una potencia superior a 100 Watts.

Figura 29

Power ratings de las catalinas 08B-1



08B-1; (12.70 mm Pitch) power ratings in kilowatt (European standard)

No of teeth	Pitch circle Dia.	rpm of small (faster) sprocket z_1															
Z	mm	25	50	75	100	200	400	500	750	1 000	1 200	1 440	1 800	2 000	2 250	2 400	3 000
13	53,07	0,16	0,24	0,43	0,59	0,82	1,55	2,18	3,24	4,06	4,14	4,56	5,14	6,59	5,33	3,34	2,39
15	61,08	0,18	0,28	0,45	0,62	0,96	1,80	2,32	3,44	4,31	4,84	5,28	6,38	6,99	5,64	4,14	2,97
17	69,12	0,22	0,32	0,56	0,76	1,10	2,06	2,84	4,22	5,28	5,53	5,94	7,69	8,59	6,93	5,00	3,57
19	77,16	0,25	0,36	0,65	0,89	1,25	2,33	3,31	4,91	6,15	6,24	6,91	9,01	9,99	8,06	5,90	4,22
21	85,21	0,27	0,39	0,71	0,98	1,39	2,60	3,64	5,41	6,77	6,96	7,60	10,04	10,99	8,87	6,86	4,91
23	93,27	0,30	0,43	0,78	1,06	1,52	2,85	3,97	5,89	7,37	7,67	8,29	11,07	11,99	9,68	7,86	5,62
25	101,33	0,32	0,48	0,84	1,15	1,67	3,12	4,30	6,39	7,99	8,39	8,98	12,10	12,99	10,49	8,93	6,38
Lubrication method				TYPE 1						TYPE 2						TYPE 3	

Nota: *Power ratings de las catalinas 08B-1.*

Por esta causa, se eligieron dos catalinas de la familia 08B-1 que presentan las siguientes especificaciones:

- 12.70 mm de paso
- 17 dientes
- Diámetro de paso

$$D_p = 69.12\ mm$$

La distancia entre los centros de los ejes roscados será un factor determinante para la selección de la cadena destinada a la transmisión de potencia, la cual debe encontrarse dentro del rango de 30 a 80 pasos.

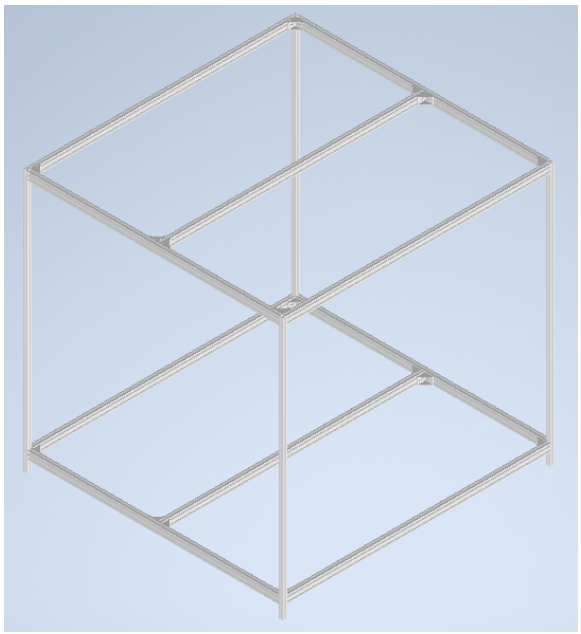
Los componentes que integran el sistema de transmisión de cadena y catalinas de la familia 08B-1 seleccionados son los siguientes:

- 2 catalinas PHS 08B-1A17
- 1 cadena PHC 08B-1X10FT de 80 pasos

6.2.11. Calculo estructural del soporte de los elementos de dosificación

Figura 30

Estructura que soporta el sistema de dosificación



Nota: *Estructura que soporta el sistema de dosificación.*

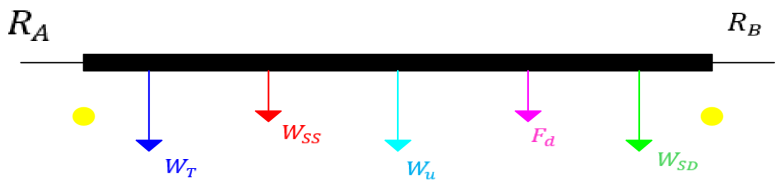
Identificación de cargas actuantes:

- W_u = Peso propio de las vigas (N)
- W_T = Peso de la Tolva (N)
- W_{SS} = Peso del sistema de succión (N)
- W_{SD} = Peso del sistema de desplazamiento vertical (N)
- F_d = Fuerzas dinámcas adicionales (N)

Diagrama de cuerpo libre (DCL)

Figura 31

Diagrama de cuerpo libre de la estructura



Nota: *Diagrama de cuerpo libre de la estructura.*

Cálculo del peso propio de las vigas:

$$W_u = \rho_u * g * V_u \tag{6.2.29}$$

Donde:

- $\rho_u =$ densidad del material de las vigas $\left(\frac{kg}{m^3}\right)$
- $g =$ gravedad $\left(9.81 \frac{m}{s^2}\right)$
- $V_u =$ volumen total de las vigas $\left(m^3\right)$

Densidad del material de las vigas (ρ_u)

La densidad constituye una propiedad física inherente a los materiales. La densidad de la viga se establece de acuerdo con el material empleado, y puede consultarse en la ficha técnica suministrada por el distribuidor, expresada en unidades de $\left(\frac{kg}{m^3}\right)$, siendo:

$$\rho_u = 2700 \ \left(\frac{kg}{m^3}\right)$$

Volumen total de las vigas (V_u)

El volumen total de las vigas se determina mediante la multiplicación del área de la sección transversal de la viga por la longitud total de la misma.

Área de la sección transversal (A_s)

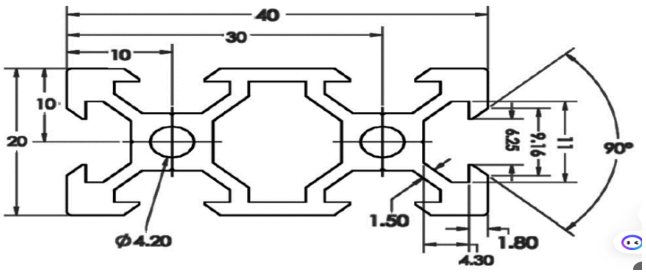
Para determinar el área de la sección transversal, es imprescindible considerar el tipo de perfil que se empleará en el diseño estructural. En esta ocasión, se procederá al análisis del perfil de aluminio en forma de V, cuyas dimensiones son de 20x40x1. 26 m.

Variables a determinar:

- b_1 = ancho de la base inferior de la viga $(m) \rightarrow 0.2m$
- b_2 = ancho de la base superior de la viga $(m) \rightarrow 0.2m$
- h = altura total de la viga de la base inferior a la superior $(m) \rightarrow 1.26m$
- t = espesor de las paredes de la viga $(m) \rightarrow 0.0625m$
- L = longitud total de la viga $(m) \rightarrow 1.2m$

Figura 32

Sección transversal perfil tipo V con sus medidas correspondientes



Nota: *Sección transversal perfil tipo V con sus medidas correspondientes.*

Cálculo del área para una viga tipo V

$$A_s = (b_1 + b_2) * t + 2 * \left(\frac{h}{2} * t\right) \tag{6.2.30}$$

$$A_s = 0.0875m^2$$

Cálculo del volumen total de la viga (V_u)

$$V_u = A_s * L \tag{6.2.31}$$

$$V_u = 0.105m^3$$

Cálculo del peso propio:

$$W_u = \rho_u * g * V_u \tag{6.2.32}$$

Donde:

- $\rho_u = 2700 \ \left(\frac{kg}{m^3}\right)$
- $g = 9.81 \left(\frac{m}{s^2}\right)$
- $V_u = 0.105 \left(m^3\right)$

$$W_u = 2781.135 \ \frac{kg * m}{s^2} \approx 2781.135 \ N$$

Peso de la tolva:

Para calcular el peso de la tolva, se utiliza la siguiente ecuación:

$$Peso = V_{Total} \cdot \rho_t \tag{6.2.33}$$

Densidad del material de la tolva (ρ_t)

De acuerdo con la ficha técnica del material, se establece que el acero inoxidable AISI 316 posee una densidad de: $\rho_t = 7980 \, \frac{kg}{m^3} \quad 7.98 \, \frac{g}{cm^3}$.

Volumen total de la tolva

$$V_{Total} = \frac{1}{3} \cdot \pi h \left(r_1^2 + r_1 r_2 + r_2^2\right) \tag{6.2.34}$$

- r_1 es el radio superior (10.36 cm),
- r_2 es el radio inferior (2.25 cm),
- h es la altura de la tolva (14.04 cm),

$$V_{Total} = 1995.18\ cm^3$$

Ahora remplazamos los valores en la ecuación 6.2.33:

$$Peso = 15921.53\ g$$

$$Peso = 15.92\ Kg$$

$$W_T = 156.17\ N$$

Peso del sistema de succión e Inyecccion:

Para determinar el peso del sistema de succión, es imprescindible conocer el peso de cada uno de los componentes que lo integran.

- Válvula de tres vías (ESG Valve) > DN 40 $\rightarrow V_3$: 1.45 kg
- Caudalímetro OPTIFLUX 1300 > DN 10 $\rightarrow C_O$: 1.7 Kg
- Convertidor de caudal IFC 050 C_{CA}: 1.9 Kg
- Camisa de cilindro $\rightarrow C_C$: 1.28 Kg
- Pistón neumático (Cilindro Festo DNC 40-80) $\rightarrow P_N$: 1.18 Kg
- Tuberías $\rightarrow T_{Ub}$: 1.35 Kg

$$Peso\ total = V_3 + C_O + C_{CA} + C_C + P_N\ + T_{Ub} \tag{6.2.35}$$

$$Peso\ total = 8.86\ Kg\ de\ cada\ sistema$$

Disponemos de 5 sistemas de succión e inyección: $12.86\ \cdot 5 = 44.3$

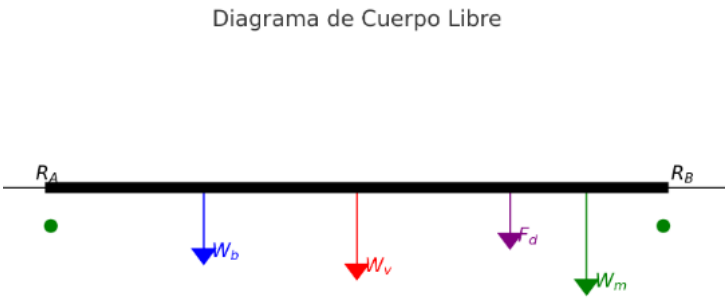
$$W_{SS} = Peso\ total \cdot g \tag{6.2.36}$$

$$W_{SS} = 434.58\ N$$

Fuerzas dinámicas adicionales

Figura 33

Diagrama de cuerpo libre de las vigas



Nota: *Diagrama de cuerpo libre de las vigas donde se pueden observar las fuerzas aplicadas en las vigas.*

Donde:

- $R_a,\ R_b =$ Reacciones en los puntos de apoyo A y B
- $W_u =$ Peso de las vigas (N)
- $W_p =$ Peso de la platina (N)
- $F_d =$ Fuerzas dinámicas adicionales(N)

Cálculo de las reacciones en los apoyos y el momento flector:

- Sumatoria de fuerzas en Y

$$\sum F_y = 0 \Rightarrow R_a + R_b = W_u + W_p + F_d$$

- Sumatoria de momentos
  Para calcular la sumatoria en el apoyo B, usamos la sumatoria de momentos respecto al punto A:

$$\sum M_A = 0 \Rightarrow R_b * L = \sum (W_i * d_i)$$

Donde:

- $L =$ Longitud de la estructura (m)
- $W_i =$ son las fuerzas(W_u , W_p, y F_b)
- $d_i =$ distancias desde el punto A hasta donde actuan las fuerzas W_i

Cálculo de las variables:

- Longitud de la estructura es de 1.24 m
- $W_i = (W_u$, W_p y $F_b)$ Donde:

$$W_u = 927.045 \ (N)$$

$$W_p = 865.06 \ (N)$$

$$F_d = 50 \ (N)$$

- d_i (distancia desde el punto A hasta donde actuan las fuerzas W_i)

$W_u \rightarrow$ actual centro de la viga

$$d_u = \frac{L}{2} = \frac{1.24}{2} = 0.62 \ m$$

$W_p \rightarrow$ actual centro de la viga

$$d_b = \frac{L}{2} = \frac{1.24}{2} = 0.62m$$

$F_d \rightarrow$ actual en el extremo derecho de la viga

$$d_d = L = 1.24m$$

- Sumatoria de fuerzas en Y

$$\sum F_y = 0 \Rightarrow R_a + R_b = W_u + W_p + F_d$$

$$R_a + R_b = 1842.105 \ N \tag{6.2.37}$$

- Sumatoria de momentos

$$\sum M_A = 0 \Rightarrow R_b * L = \sum (W_i * \ d_i)$$

$$R_b * L = (W_u * d_u \ ) + (W_p * d_b \ ) + (F_d * d_d \ )$$

$$R_b = 946.05 \ Nm \tag{6.2.38}$$

- Reemplazamos la *ecuacion* (6.2.33) en la Ecuación 6.2.38 para determinar R_a

$$R_a = 896.055 \ Nm$$

Esfuerzos internos y tensión

Variables a determinar:

- $\sigma =$ tensión (Pa)
- $A =$ área de la viga (m^2)

Determinación de los esfuerzos internos:

- Tensión axial:

$$\sigma_{axial} = \frac{F_{axial}}{A} \tag{6.2.39}$$

Donde:

$$F_{axial} = W_u = \ 927.045 \ N$$

$$A_s = 0.0875 m^2$$

$$\sigma_{axial} = 10594.8 \ \ Pa$$

- Esfuerzo cortante:

$$\tau = \frac{V \rightarrow \text{fuerza cortante}}{A \rightarrow \text{área transversal de la viga}} \tag{6.2.40}$$

Donde:

$$A = 0.0875 \ (m^2)$$

$$V = 102.61\ (N)$$

$$\tau = 1172.688\ Pa$$

- Momento flector:

$$\sigma_{flexión} = \frac{M * c}{I}$$

Donde:

M = Momento flector (Nm)

C = Distancia desde el eje neutro hasta la fibra más alejada (m)

I = Momento de inercia de la sección transversal (m^4)

Determinación de cada variable:

$$M = \frac{w * L^2}{8} \tag{6.2.41}$$

Donde :

- w = Carga distribuida $\frac{N}{m}$
- $L = L$ = Longitud de la viga (m)

$$w = \frac{P_{total}}{L}$$

Donde :

- P_{total} = Peso total que actúa sobre las vigas $= 1289.03\ N$
- L = Longitud de la viga $= 1.24\ m$
- $w = \frac{1289.03}{1.24} = 1039.54\ (N/m)$
- $M = \frac{1039.54 * 1.24^2}{8} = 199.79\ Nm$

Determinación de la distancia desde el eje neutro (c)

La distancia desde el eje neutro de la viga hasta la fibra exterior más distante se denomina "c". En el caso de una viga con sección rectangular, "c" corresponde a la mitad de la altura total de la viga.

$$c = \frac{h \rightarrow \text{altura de la viga } (m)}{2}$$

$$c = \frac{1.3}{2} = 0.65m$$

Determinación del momento de inercia (I)

El momento de inercia depende de la geometría de la sección transversal. Para una viga rectangular:

$$I = \frac{b * h^2}{12} \tag{6.2.42}$$

Donde:

- $b =$ base de la viga (m)
- $L =$ altura de la viga (m)
- $I = \frac{1.30 * 1.24^2}{12} = 0.1665$

Determinación del momento flector reemplazando las variables:

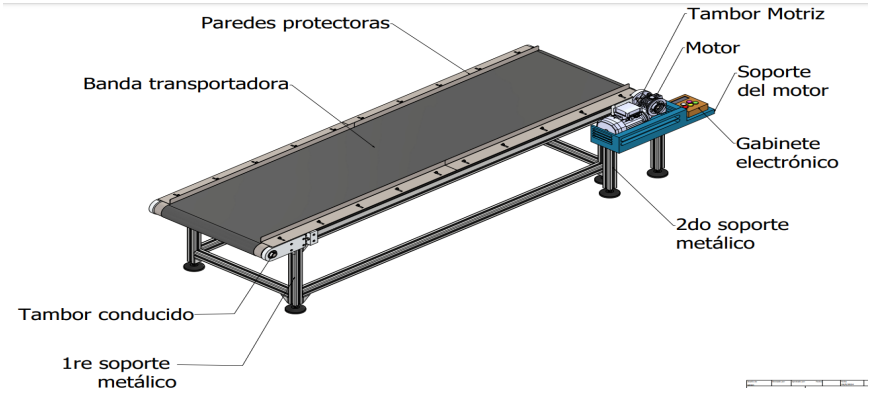
$$\sigma_{flexión} = \frac{199.79 * 0.65}{0.1665} = 779.95$$

6.2.12. Diseño de la banda transportadora

La creación de una banda de transporte para el traslado de vasos durante el proceso de dosificación de helado exige la valoración de varios parámetros que garanticen la exactitud y el acatamiento de las regulaciones del sistema. Para este diseño particular, se ha establecido que el sistema debe manejar una cantidad de 40 helados en un tiempo medio de 2 minutos, lo que significa que la cinta transportadora debe poder funcionar sin interrupciones. Para ello, es necesario tener en cuenta la carga axial dominante en el sistema, originada del peso propio de las vigas y la distribución homogénea del peso de los recipientes.

Figura 34

Estructura cinta transportadora



Nota: *Estructura cinta transportadora con cada una de sus partes reconocidas.*

Modelo del sistema de la banda transportadora

La velocidad lineal de la banda está relacionada con la velocidad angular del rodillo impulsor:

$$v_b = R_r \omega_r \tag{6.2.43}$$

El movimiento de la banda y la carga transportada se modela con la ecuación de balance de fuerzas:

$$M_b \left(\frac{dv_b}{dt} \right) + B_b v_b = F_t \tag{6.2.44}$$

Donde:

- M_b Es la masa equivalente de la banda y la carga transportada.
- B_b Es la fricción de la banda.
- F_t Es la fuerza de tracción generada en la banda

$$F_t = \frac{T_r}{R_r} \tag{6.2.45}$$

Modelo del motor

El modelo del motor se representa con la ecuación de un motor de corriente continua:

$$V = L_m \left(\frac{di}{dt} \right) + R_m i + K_b \omega_m \tag{6.2.46}$$

$$J_m \left(\frac{d\omega_m}{dt} \right) = K_t i - B_m \omega_m \tag{6.2.47}$$

Donde:

- J_m Es el momento de inercia del motor
- B_m Es el coeficiente de fricción viscosa del motor
- ω_m Es la velocidad del motor ($\frac{rad}{s}$)
- T_m Es el torque generado por el motor
- L_m, R_m Son la inductancia y la resistencia del motor
- K_b Es la constante de fuerza contraelectromotriz
- K_t es la constante de torque

Modelo del reductor

El motorreductor introduce una reducción de velocidad mediante la relación de transmisión N:

$$\omega_r = \frac{\omega_m}{N} \tag{6.2.48}$$

$$T_r = NT_m\eta \tag{6.2.49}$$

Donde:

- ω_r Es la velocidad angular del eje de salida del reductor
- T_r Es el torque transmitido por el reductor
- η Es la eficiencia del reductor

Función de transferencia del sistema
Combinando todas las ecuaciones, la función de transferencia es:

$$G(s) = \frac{V_{b(s)}}{V(s)} = \frac{K_{eq}}{[s(J_{eq}s + B_{eq})]} \tag{6.2.50}$$

donde:

$$J_{eq} = J_m + \left(\frac{J_r}{N^2}\right) + \left(\frac{M_b R_r^2}{N^2}\right) \tag{6.2.51}$$

$$B_{eq} = B_m + \left(\frac{B_r}{N^2}\right) + \left(\frac{B_b}{N^2}\right) \tag{6.2.52}$$

$$K_{eq} = \frac{(K_t\eta)}{(R_r N)} \tag{6.2.53}$$

Datos iniciales y requisitos

- **Cantidad de helados a transportar:** 40 helados en 2 minutos (20 helados por minuto).

- **Volumen por helado:** 2 onz por vaso.
- **Dimensiones de los vasos:** Altura: 58.3 mm Diámetro boca: 58.85 mm Diámetro base: 41.7 mm
- **Dimensiones de la bandeja:** 50 cm x 30 cm
- **Cantidad de helados por bandeja:** 40 helados
- **Espacio disponible:** Largo de la banda: 3m Ancho de la banda: 0.50m
- **Tipo de banda recomendado:** Banda transportadora tipo EP (Febor 15 PVC color negro)

Cálculo del peso de los helados Primero, calculamos el peso de cada helado para determinar la carga que la banda debe transportar.

- **Densidad aproximada del helado (mora):** 0.832 g/ml.
- **Volumen de cada helado:** 88.7206 ml.

Peso de cada helado:

$$\text{Peso por helado} = \text{volumen} * \text{densidad}$$

$$\text{Peso por helado} = 88.7206ml * 0.832g/ml$$

$$\text{Peso por helado} = 72.81g \approx 0.07381kg$$

Carga total por bandeja:

$$\text{Carga total por bandeja} = \text{Cantidad por bandeja} * \text{Peso por helado}$$

$$\text{Carga total por bandeja} = 40 * 0.07381kg$$

$$\text{Carga total por bandeja} = 2.9524kg$$

Peso total en la banda:

$$\text{Peso total} = \text{Numero de helados} * \text{peso por helado(mora)}$$

$$\text{Peso total} = 40 * 1299g = 51.96g = 5.196Kg$$

Peso de la banda (respecto al tipo de banda seleccionado):
Características de la banda seleccionada:

- Febor 15 NF PVC color negro 01
- Ancho de $0.5m$
- Peso 0.726 kg/m
- Coeficiente de fricción 0.4

$$\text{Peso total de la banda} = 0.726kg/m * 3m = 2.144kg$$

Peso total movido (W):

$$W = \text{Peso de la carga} + \text{peso total de la banda} \tag{6.2.54}$$

$$W = 5.196 + 2.144 = 7.34kg$$

Fuerza necesaria para mover la banda (F):
Considerando el coeficiente de fricción μ=0.4

$$F = W * g * \mu = 7.34 * 9.81 * 0.4$$

$$F = 28.8N$$

Potencia teórica (P_T):

$$P_T = F * V = 28.8 * 0.3 = 8.64W$$

Aplicando factor de seguridad y eficiencia:
Potencia real (P_R):

$$P_R = \frac{P_T * F_s}{\eta}$$

$$P_R = \frac{8.64 * 2}{509.76} = 118W = 0.18kW$$

Selección del motor:

Tabla 31

Cuadro de selección de motorreductores

P_1 kW 1)	n_2 min^{-1}	M_2 daN m	fs	Riduttore - Motore / Gear reducer - Motor 2)			i
0,18	21,2	7,8	1,25	MR 3I 41 - 11×140	63 B	4	65,9
	21,5	7,7	2,12	MR 3I 50 - 11×140	63 B	4	65
	21,5	7,7	3	MR 3I 51 - 11×140	63 B	4	65
	23,5	7	2,24	MR 3I 50 - 11×140	63 B	4	59,5
	25	6,6	1,12	MR 3I 40 - 11×140	63 B	4	55,9
	25	6,6	1,4	MR 3I 41 - 11×140	63 B	4	55,9
	27,2	6,1	2,65	MR 3I 50 - 11×140	63 B	4	51,4
	27,3	6	1,25	MR 3I 40 - 11×140	63 B	4	51,3
	27,3	6	1,5	MR 3I 41 - 11×140	63 B	4	51,3
	31,3	5,3	1,4	MR 3I 40 - 11×140	63 B	4	44,7
	31,3	5,3	1,7	MR 3I 41 - 11×140	63 B	4	44,7
	32,5	5,1	3,15	MR 3I 50 - 11×140	63 B	4	43
	35,3	4,67	1,6	MR 3I 40 - 11×140	63 B	4	39,6
	35,3	4,67	2	MR 3I 41 - 11×140	63 B	4	39,6
	35,7	4,62	3,35	MR 3I 50 - 11×140	63 B	4	39,2
	39,1	4,22	3,75	MR 3I 50 - 11×140	63 B	4	35,8
	39,2	4,21	0,85	MR 3I 32 - 11×140	63 B	4	35,7
	41,6	3,96	1,9	MR 3I 40 - 11×140	63 B	4	33,6
	41,6	3,96	2,36	MR 3I 41 - 11×140	63 B	4	33,6
	43,7	3,78	0,9	MR 3I 32 - 11×140	63 B	4	32,1
	45,5	3,63	2	MR 3I 40 - 11×140	63 B	4	30,8
	45,5	3,63	2,5	MR 3I 41 - 11×140	63 B	4	30,8
	49,9	3,31	1,06	MR 3I 32 - 11×140	63 B	4	28,1
	53,4	3,09	2,24	MR 3I 40 - 11×140	63 B	4	26,2
	53,4	3,09	2,65	MR 3I 41 - 11×140	63 B	4	26,2
	55,6	3,03	1,9	MR 2I 40 - 14×160	71 A	6	16,2
	56,3	2,93	1,18	MR 3I 32 - 11×140	63 B	4	24,9
	63,3	2,66	2,12	MR 2I 40 - 11×140	63 B	4	22,1
	66,3	2,49	1,4	MR 3I 32 - 11×140	63 B	4	21,1
	67,7	2,49	2,65	MR 2I 40 - 14×160	71 A	6	13,3
	73,9	2,23	1,6	MR 3I 32 - 11×140	63 B	4	18,9
	77,3	2,18	3	MR 2I 40 - 11×140	63 B	4	18,1
	85	1,94	1,7	MR 3I 32 - 11×140	63 B	4	16,5
	86,3	1,95	3,35	MR 2I 40 - 11×140	63 B	4	16,2
	96,6	1,74	4	MR 2I 40 - 11×140	63 B	4	14,5
	104	1,62	1,9	MR 2I 32 - 11×140	63 B	4	13,5
	109	1,54	4,5	MR 2I 40 - 11×140	63 B	4	12,8
	130	1,3	2,65	MR 2I 32 - 11×140	63 B	4	10,8
	146	1,15	3	MR 2I 32 - 11×140	63 B	4	9,57
	172	0,98	3,35	MR 2I 32 - 11×140	63 B	4	8,12
	192	0,88	3,75	MR 2I 32 - 11×140	63 B	4	7,29
	221	0,76	4,5	MR 2I 32 - 11×140	63 B	4	6,33
	277	0,61	4,5	MR 2I 32 - 11×140	63 B	4	5,06

Nota: *Se seleccionó el motorrecductos en el catálogo Rossi, serie E.*

El motor seleccionado es un Rossi Motoriduttori MR V 32 UO3A REDUCTOR - HF 63B 4, que cumple con los requisitos establecidos anteriormente.

Cálculo del diámetro de los rodillos

- **Selección de rodillos**

De acuerdo con el catálogo de la compañía ULMA, experta en la producción y venta de rodillos para bandas de transporte, la elección del rodillo se efectúa en base al ancho de la banda. Igualmente, la longitud del eje de giro previo al fresado del plano es de 608 mm, en cambio, al tomar en cuenta el fresado del plano, esta medida se amplía hasta 626 mm.

Tabla 32

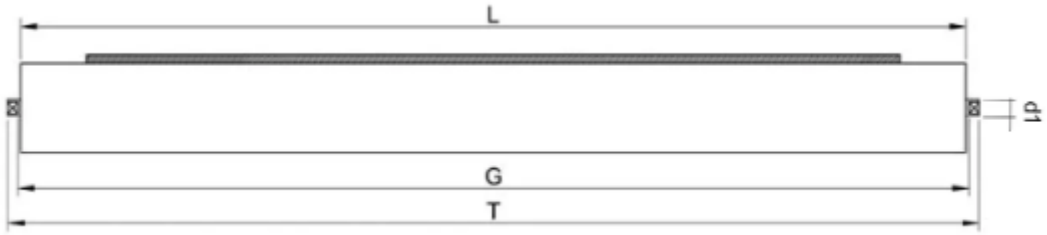
Dimensiones de los rodillos según la normativa DIN 15207

Ancho de banda	3 Rollers L	3 Rollers G	3 Rollers d1∅20 T	3 Rollers d1>∅20 T	2 Rollers L	2 Rollers G	2 Rollers d1∅20 T	2 Rollers d1>∅20 T	1 Roller L	1 Roller G	1 Roller d1∅20 T	1 Roller d1>∅20 T
400	160	168	186	192	250	258	276	282	500	508	526	532
500	200	208	226	232	315	323	341	347	600	608	626	632
650	250	258	276	282	380	388	406	412	750	758	776	782
800	315	323	341	347	465	473	491	497	950	958	976	982
100	380	388	406	412	600	608	626	632	1150	1158	1176	1182
0	465	473	491	497	700	708	726	732	140	140	142	143
120	530	538	556	562	800	808	826	832	0	8	6	2
0	600	608	626	632	900	908	926	932	160	160	162	163
140	670	678	696	702	100	100	102	103	0	8	6	2
0	750	758	776	782	0	8	6	2	180	180	182	183
160	800	808	826	832	1100	1108	1126	1132	0	8	6	2
	(mm)				(mm)				(mm)			

Nota: *Selección de los rodillos en el catálogo de la empresa ULMA.*

Figura 35

Clasificación de las diferentes dimensiones de un rodillo



Nota: *En la siguiente figura se puede observar la clasificación de las diferentes dimensiones de un rodillo.*

- **La velocidad angular del rodillo se calcula como:**

$$N_{rodillo} = V/(\pi \times D)$$

$$N_{rodillo} = 0.80RPM$$

- La velocidad del motor considerando la relación de reducción se obtiene con:

$$N_{motor} = N_{rodillo} \times i$$

$$N_{motor} = 23.87 RPM$$

Distancia entre rodillos La longitud entre los rodillos se determina a partir del ancho de banda establecido anteriormente el cual es de 600 mm

Cálculo de las tensiones en la banda Tensión efectiva (Te):

$$Te = 33.6 \ N$$

Tensión máxima permisible (Tmax):

Las bandas tipo EP tienen una tensión máxima específica. Supongamos que la banda seleccionada tiene una tensión permisible de 5 N/cm de ancho.

Capacidad de tensión de la banda (Tc):

$$Tc = \text{ancho de la banda} * 5 \ \ N/cm$$

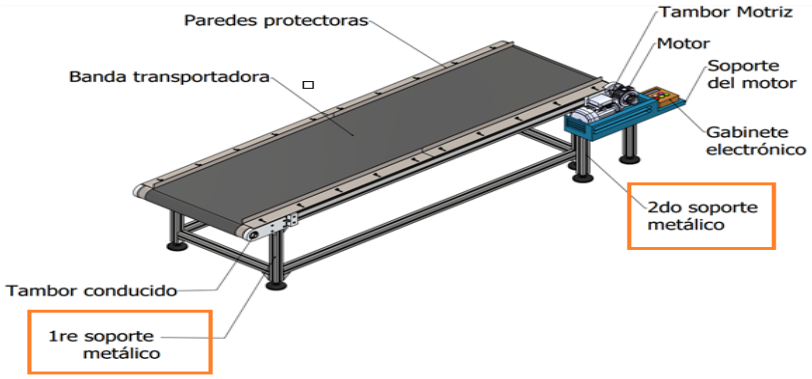
$$Tc = 50 cm * 200 N/cm = 300 N$$

Entonces:

$$Te = 33.6 \ N \leq 300 N$$

Figura 36

Ubicación de las vigas



Nota: *Ubicación de las vigas dentro de la banda transportadora.*

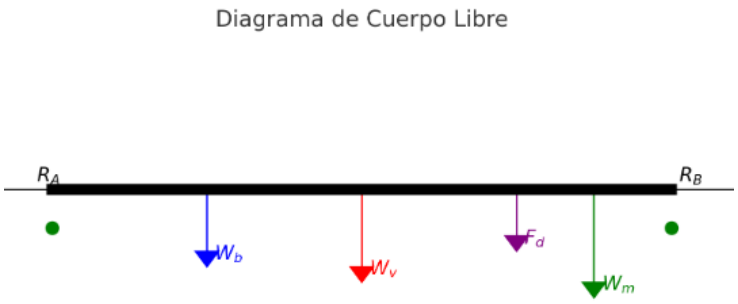
Análisis estructural del mecanismo de las vigas

Identificación de cargas actuantes:

- $W_u =$ Peso propio de las vigas (N)
- $W_b =$ Peso de la banda (N)
- $W_{mt} =$ Peso del material transportado (N)
- $F_d =$ Fuerzas dinámicas adicionales (N)

Figura 37

Diagrama de cuerpo libre



Nota: *Diagrama de cuerpo libre que indica las fuerza aplicadas dentro de la viga.*

Cálculo del peso propio:

$$W_u = \rho_u * g * V_u$$

Donde:

- $\rho_u =$ densidad del material de las vigas $\left(\frac{kg}{m^3}\right)$
- $g =$ gravedad $\left(9.81 \frac{m}{s^2}\right)$
- $V_u =$ volumen total de las vigas $\left(m^3\right)$
- **Nota:** el material de las vigas es de aluminio 6063 Ts, donde 6063 indica la serie de aleación que es en este caso es de la serie 6000 (magnesio y silicio) y Ts significa al tratamiento térmico que ha recibido la aleación, en este caso la aleación ha sido envejecida artificialmente.

Densidad del material de las vigas (ρ_u)

La densidad es una propiedad física del material, la densidad se determina por el tipo de material de las vigas $\left(\frac{kg}{m^3}\right)$

$$\rho_u = 2700 \left(\frac{kg}{m^3}\right)$$

Volumen total de las vigas (V_u)

Se calcula multiplicando el área de la sección transversal de la viga por la longitud total de la viga

- Área de la sección transversal (A_s)

Variables a determinar:

- $b_1 =$ ancho de la base inferior de la viga $(m) = 0.2\ m$
- $b_2 =$ ancho de la base superior de la viga $(m) = 0.02\ m$
- $h =$ altura total de la viga de la base inferior a la superior $(m) = 1\ m$
- $t =$ espesor de las paredes de la viga $(m) = 0.0625\ m$
- $L =$ longitud total de la viga $(m) = 0.4\ m$

Cálculo del área para una viga tipo V

$$A_s = (b_1 + b_2) * t + 2 * \left(\frac{h}{2} * t\right)$$

$$A_s = 0.0875 m^2$$

Cálculo del volumen total de la viga (V_u)

$$V_u = A_s * L$$

$$V_u = 0.035 m^3$$

Cálculo del peso propio:

$$W_u = \rho_u * g * V_u$$

Donde:

- $\rho_u = 2700 \left(\frac{kg}{m^3}\right)$
- $g = 9.81 \left(\frac{m}{s^2}\right)$
- $V_u = 0.035 \left(m^3\right)$

$$W_u = 927.045 \frac{kg * m}{s^2} \approx 927.045N$$

Peso de la banda:

$$W_b = \rho_b * g * A_b * t_b$$

Donde:

- $\rho_b =$ densidad del material de la banda $\left(\frac{kg}{m^3}\right)$
- $A_b =$ área de la banda (m^2)
- $t_b =$ espesor de la banda (m)

Densidad de la banda (ρ_b), material seleccionado para la banda es Febor 15 PVC color negro

Datos del material de la banda:

- Ancho de la banda es de $0.5m$
- Peso de la banda es de $0.726kg/m^2$
- Coeficiente de fricción 0.4
- Densidad de la banda 1400 Kg/m^3

$$\rho_b = 1400 \left(\frac{kg}{m^3}\right)$$

Área de la banda (A_b)

Datos:

- $W_b =$ ancho de la banda $0.5\,(m)$
- $L_b = 3\,(m)$
- $A_b = W_b * L_b$

$$A_b = 0.5 * 3 = 1.5m^2$$

Espesor de la banda (t_b)

$$t_b = 3mm = 0.003m$$

Cálculo del volumen de la banda (V_b)

$$V_b = A_b * t_b$$

Donde:

- $A_b = 1.5m^2$
- $t_b = 0.003m$
- $V_b = 0.0045m^3$

Cálculo del peso de la banda (W_b)

$$W_b = \rho_b * g * V_b$$

Donde:

- $\rho_b = 1400\left(\frac{kg}{m^3}\right)$
- $V_b = 0.0045(m^3)$
- $g = 9.81\left(\frac{m}{s^2}\right)$
- $W_b = 61.803N$

1. **Peso del material transportado:**

$$W_{mt} = m_m * g$$

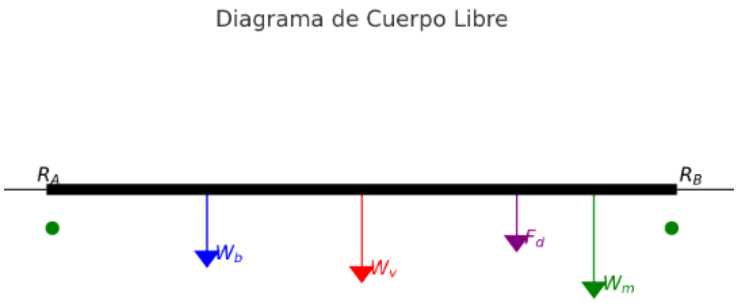
Donde:

- $m_m = 2.843\,(kg)$
- $g = 9.81\left(\frac{m}{s^2}\right)$
- $W_{mt} = 27.889N$

Fuerzas dinámicas adicionales en los puntos de apoyo rotatorio

Figura 38

Diagrama de cuerpo libre con fuerzas dinámicas



Nota: *Diagrama de cuerpo libre con fuerzas dinámicas.*

Donde:

- $R_a, R_b =$ reacciones en los puntos de apoyo A y B
- $W_u =$ Peso propio de las vigas (N)
- $W_b =$ Peso de la banda (N)
- $W_{mt} =$ Peso del material transportado (N)
- $F_d =$ Fuerzas dinámicas adicionales (N)

Cálculo de las reacciones en los apoyos y el momento flector:

- Sumatoria de fuerzas en Y

$$\sum F_y = 0 \Rightarrow R_a + R_b = W_u + W_b + W_{mt} + F_d$$

- Sumatoria de momentos

Para calcular la sumatoria en el apoyo B, usamos la sumatoria de momentos respecto al punto A:

$$\sum M_A = 0 \Rightarrow R_b * L = \sum (W?_i * d_i)$$

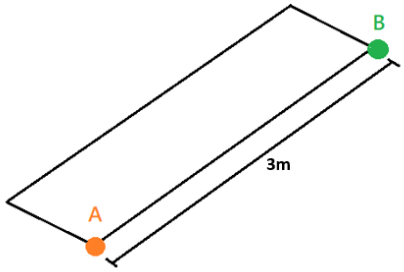
Donde:

- $L =$ Longitud total de la estructura(m)
- $W_i =$ son las fuerzas $(W_u, W_b, W_{mt} y F_b)$
- $d_i =$ distancias desde el punto A hasta donde actuan las fuerzas W_i

Cálculo de las variables:

Figura 39

Longitud de la estructura es de 1.5m



Nota: *Longitud de la estructura es de 1.5 m dentro del plano espacial.*

$$W_i = (W_u, W_b, W_{mt} y F_b) \tag{6.2.55}$$

Donde:

- $W_u = 927.045(N)$
- $W_b = 61.803\,(N)$
- $W_{mt} = 27.889\,(N)$
- $F_d = 50\,(N)$

d_i(distancias desde el punto A hasta donde actuan las fuerzas W_i)

$$W_u \rightarrow \text{actua en el centro de la viga}$$

$$d_u = \frac{L}{2} = \frac{3}{2} = 1.5m$$

$$W_b \rightarrow \text{actua en el centro de la viga}$$

$$d_b = \frac{L}{2} = \frac{3}{2} = 1.5m$$

$$W_{\text{mt}} \rightarrow \text{actua alrededor de toda la viga}$$

$$d_{mt} = L = 3m$$

$$F_d \rightarrow \text{actua en el extremo derecho de la viga}$$

$$d_d = L = 3m$$

- Sumatoria de fuerzas en Y

$$\sum F_y = 0 \Rightarrow R_a + R_b = W_u + W_b + W_{mt} + F_d$$

$$R_a + R_b = 927.045 + 61.803 + 27.889 + 50$$

$$R_a + R_b = 1066.737N$$

- Sumatoria de momentos

$$\sum M_A = 0 \Rightarrow R_b * L = \sum (W?_i * d_i)$$

$$R_b * L = (W_u * d_u) + (W_b * d_b) + (W_{mt} * d_{mt}) + (F_d * d_d)$$

$R_b = 572.313Nm \rightarrow Ecu[2]$

- Reemplazamos la $Ecu[2]$ en la $Ecu[1]$ para determinar R_a

$$R_a + 572.313 = 1066.737$$

$$R_a = 494.424Nm$$

Esfuerzos internos y tensión

Variables a determinar:

$$\sigma = \text{tensión}(Pa)$$

$$A = \text{Area transversal de la viga}(m^2)$$

Determinación de los esfuerzos internos:

Tensión Axial:

$$\sigma_{axial} = \frac{F_{axial}}{A}$$

Donde:

$$F_{axial} = W_u = 927.045N$$

$$A_s = 0.0875m^2$$

$$\sigma_{axial} = 10594.8Pa$$

Esfuerzo Cortante:

$$\tau = \frac{V \rightarrow \text{fuerza cortante}}{A \rightarrow \text{área transversal de la viga}}$$

Donde:

$$A = 0.0875(m^2)$$

$$V = 102.61(N)$$

$$\tau = 1172.688Pa$$

Momento Flector:

$$\sigma_{\text{flexión}} = \frac{M * c}{I}$$

Donde:

$$M = \text{momentoflector}(Nm)$$

$$C = \text{distancia desde el eje neutro hasta la fibra más alejada } (m)$$

$$I = \text{momento de inercia de la sección transversal } (m^4)$$

Determinación de cada variable:

$$M = \frac{w * L^2}{8}$$

Donde:

$$w = \text{carga distribuida } (N/m)$$

$$L = \text{longitud de la viga } (m)$$

$$w = \frac{P_{total}}{L}$$

Donde:

$$P_{total} = \text{peso total que actúa sobre la vigas} = 102.61N$$

$$L = \text{longitud de la viga} = 3m$$

$$w = \frac{102.61}{3} = 34.20(N/m)$$

$$M = \frac{34.20 * 3^2}{8} = 38.475Nm$$

Determinación de la distancia desde el eje neutro (c)

Es la distancia desde el eje neutro de la viga hasta la fibra exterior más alejada. Para una viga rectangular, " c" es la mitad de la altura de la viga:

$$c = \frac{h \rightarrow \text{alturadelaviga}(m)}{2}$$

$$c = \frac{1}{2} = 0.5m$$

Determinación del momento de inercia (I)

El momento de inercia depende de la geometría de la sección transversal. Para una viga rectangular:

$$I = \frac{b * h^2}{12}$$

Donde

$$b = \text{base de la viga}(m)$$

$$L = \text{altura de la viga}(m)$$

$$I = \frac{0.2 * 1.5^2}{12} = 0.0375$$

Determinación del momento flector reemplazando las variables:

$$\sigma_{\text{flexión}} = \frac{19.23 * 0.5}{0.0375} = 256.4$$

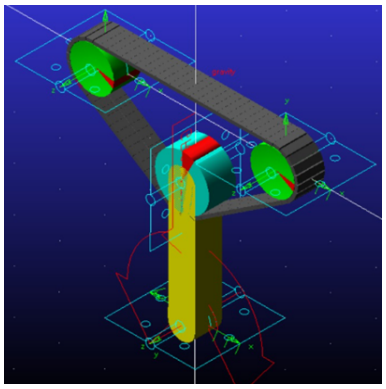
Análisis dinámico

1. Masa de la banda transportadora:
   - Volumen de la banda : $0.0045m^3$
   - Densidad del poliuretano: $1200\frac{kg}{m^3}$
   - Masa de la banda: 5.4 kg
2. Fricción entre la bandeja y la banda:
   - Peso de la bandeja: 2.843 kg
   - Fuerza normal (peso de la bandeja): 27.89 N (calculado con $F = mg$)
   - Coeficiente de fricción: 0.4
   - Fuerza de fricción: 11.16 N

El análisis dinámico de la banda transportadora considera los efectos de la masa de la banda, la interacción con la carga transportada y la resistencia por fricción. La banda, fabricada en poliuretano, presenta una masa total de 5.4 kg, lo que influye en la inercia del sistema durante su aceleración y desaceleración. La interacción entre la bandeja y la banda genera una fuerza de fricción de 11.16 N, derivada del coeficiente de fricción de 0.4 y la fuerza normal inducida por el peso de la bandeja.

Figura 40

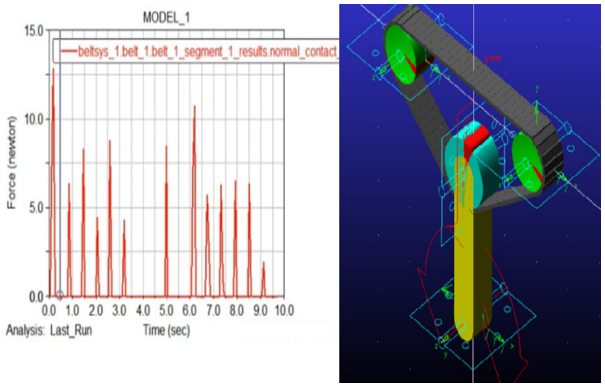
Análisis dinámico



Nota: *Proceso de Análisis dinámico de la banda transportadora.*

Figura 41

Análisis dinámico con gráfico



Nota: *Proceso de Análisis dinámico de la banda transportadora junto a un gráfico de las fuerzas en el tiempo.*

Esta fricción representa la resistencia al movimiento de la bandeja sobre la superficie de la banda y debe ser compensada por la fuerza de tracción generada por el motor del sistema. Además, la distribución de fuerzas y la tensión en la banda deben ser evaluadas para garantizar un desplazamiento uniforme y evitar sobrecargas en los rodillos de soporte.

6.3. Desarrollar una estrategia de control para el sistema de dosificado de helado en la microempresa Bigotes de leche

Este objetivo de control se alcanzará mediante la inclusión de sensores, válvulas y actuadores neumáticos regulados electrónicamente en un sistema secuencial que reacciona únicamente cuando se satisfacen las condiciones apropiadas en cada fase.

6.3.1. Descripción del proceso de dosificado

Etapa 1: Carga de la Tolva

El proceso comienza con la carga de la mezcla de helado en la tolva. En esta etapa, el sistema emplea un sensor de nivel, este sensor verifica que el volumen de mezcla sea suficiente para iniciar el proceso. Si esta condición no se cumple, el sistema permanece inactivo, evitando la activación de las electroválvulas hasta que las condiciones sean correctas.

Etapa 2: Activación de la Electroválvula 3/2

Una vez que el nivel es el adecuado, una electroválvula de tres vías (3/2) se activa para redirigir el flujo de helado hacia la siguiente fase. La electroválvula permite el paso del producto a través del puerto A, conectado a una camisa cilíndrica asociada a un pistón neumático. Para asegurar la precisión del flujo, el sistema incorpora sensores de posición en el pistón y un sensor de presión de aire.

Etapa 3: Llenado de la Camisa Cilíndrica

Con la electroválvula activada, el pistón neumático impulsa la mezcla hacia la camisa cilíndrica hasta llenar su capacidad máxima. El sensor de posición detecta cuándo la camisa ha alcanzado su límite, enviando una señal para detener el flujo y evitar sobrecargas o dosificaciones insuficientes. Esta etapa asegura que la camisa cilíndrica esté cargada con el volumen óptimo de mezcla de helado antes de avanzar a la dosificación.

Etapa 4: Cambio de Puerto en la Electroválvula 3/2

Al recibir la señal de llenado de la camisa, la electroválvula 3/2 cambia de configuración, cerrando el puerto A y abriendo el puerto B. Este cambio de posición permite que la mezcla se dirija hacia un caudalímetro, que se encarga de medir y ajustar el flujo del helado de forma continua.

Etapa 5: Dosificación del Helado

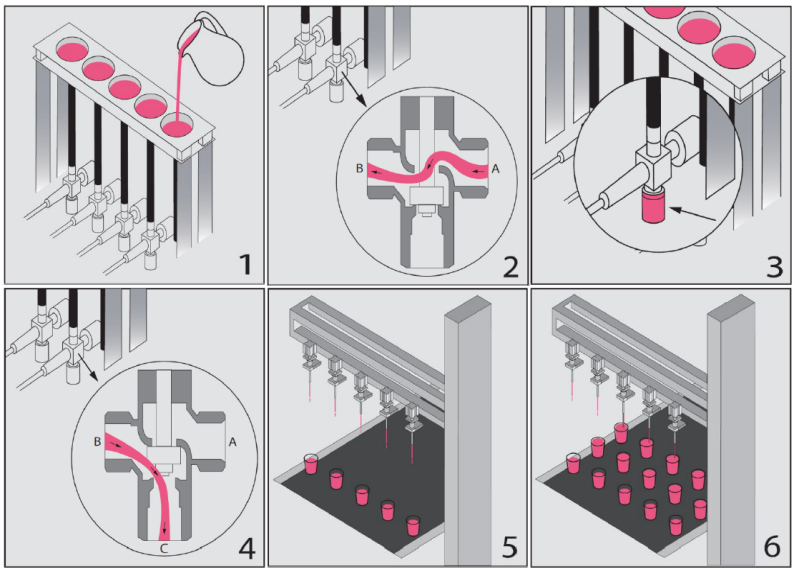
En esta fase, cuando el caudalímetro verifica la estabilidad del flujo manda una señal el cual activa dos pistones neumáticos, el primero el que posiciona las válvulas de dos vías con los envases y el segundo el encargado de dosificar el producto por boquillas cuando la válvula de dos vías se encuentre activa, para cumplir todos estos parámetros a cada pistón se le agregó un sensor de posición. Por otro lado, la válvula de dos vías se activará cuando se cumpla las condiciones especificadas, como el correcto flujo del producto, posición correcta de la bandeja con los envases, etc. Una vez que se cumplan todos los parámetros y estas sean verificadas, el proceso de dosificación iniciara de forma adecuada y controlada.

Etapa 6: Control y Ciclo Continuo

El sistema opera de manera continua, programado para completar ciclos de dosificación para 40 recipientes por ciclo. Durante este proceso, el controlador revisa de forma constante los sensores implementados ya sea de nivel, posición, etc. Y verifica el estado actual de cada proceso y en el caso de que algún proceso falle emitirá una serie de alarmas avisando al usuario por medio de un HMI que algo esta mal en el proceso. A continuación se realizó un diagrama PI&D donde se aprecia el proceso de dosificación.

Figura 42

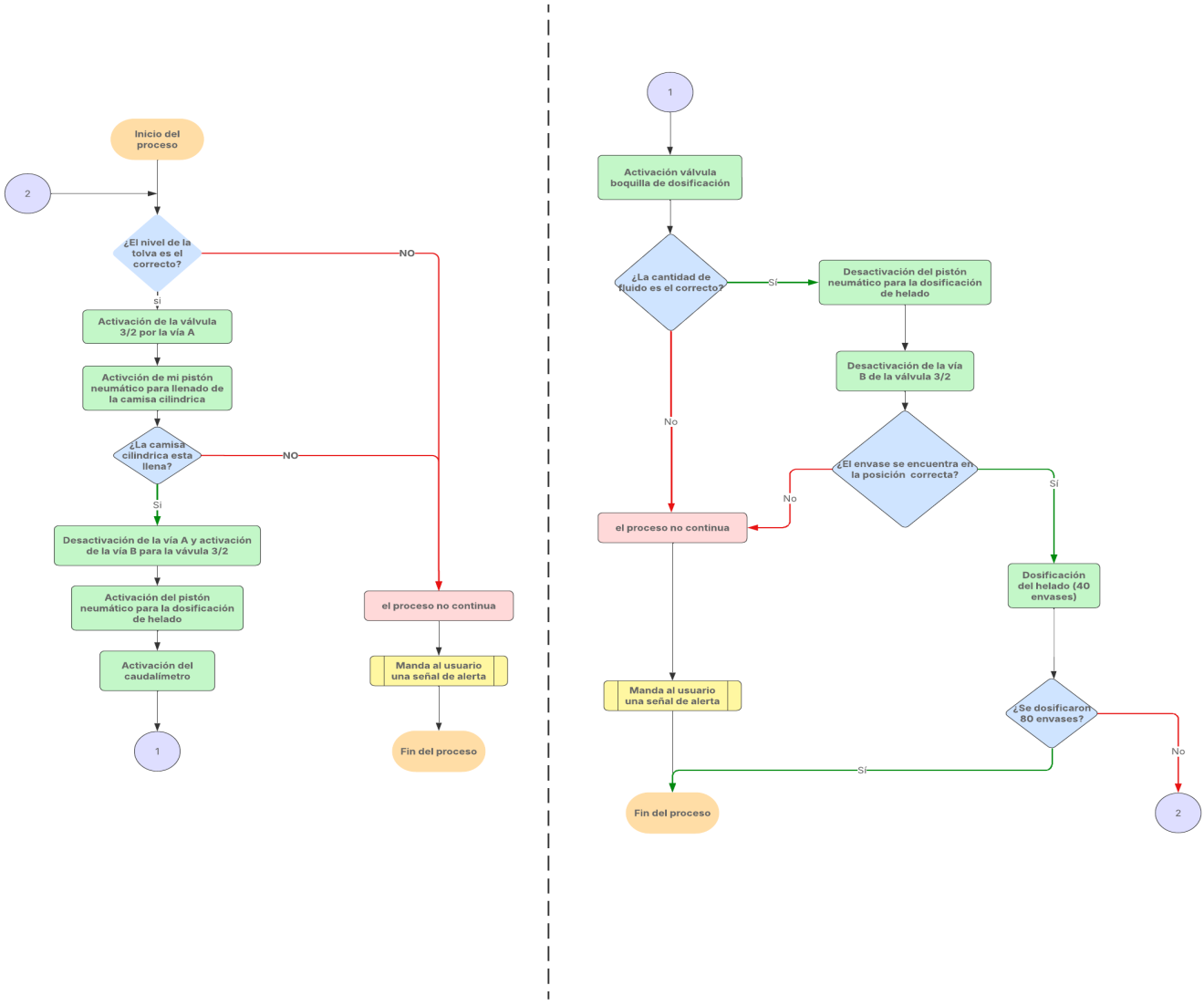
Etapas de del dosificado



Nota: *Etapas de del dosificado de acuerdo a cada descripción dada.*

Figura 43

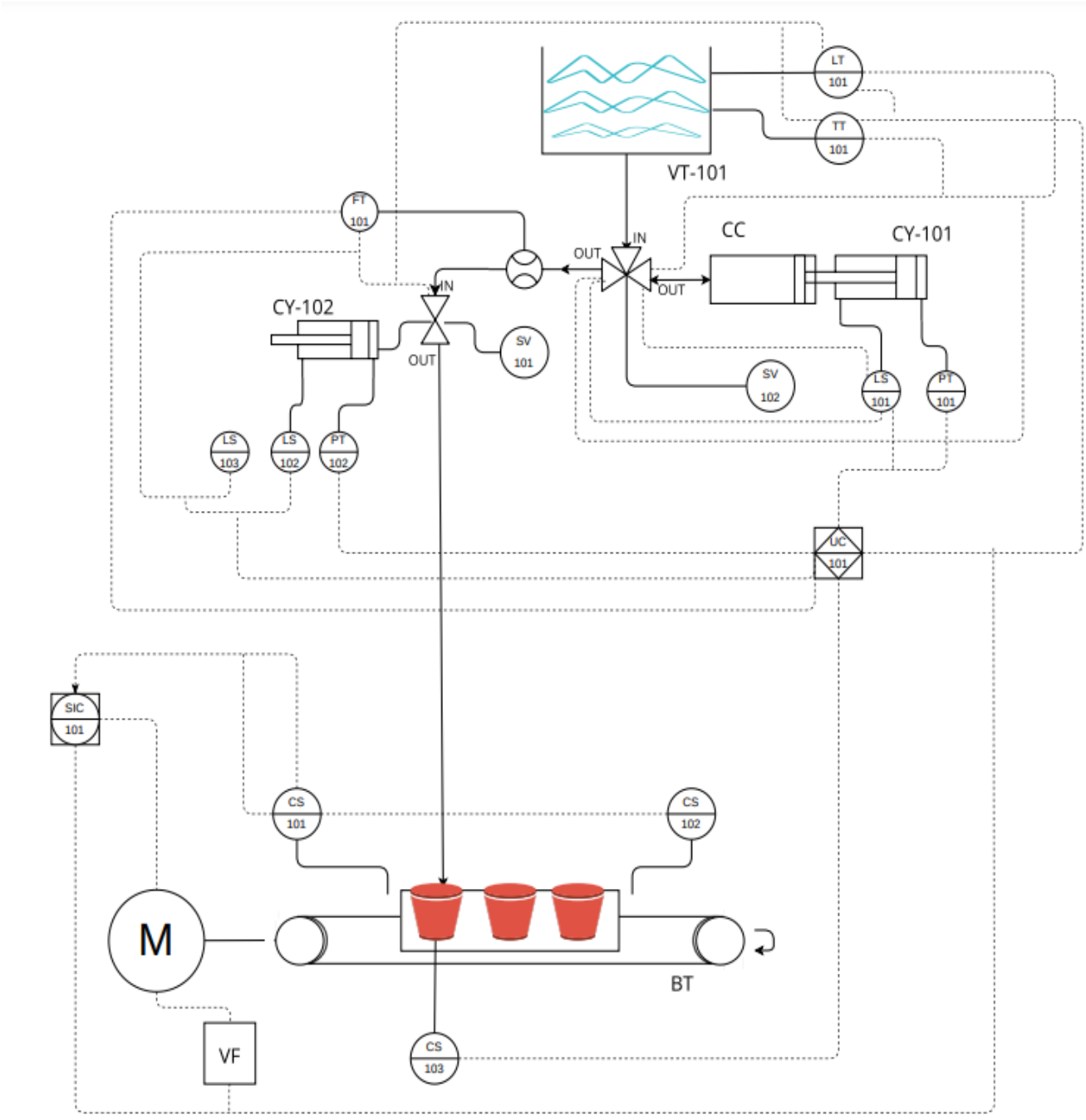
Diagrama de flujo del diseño del control y ciclo continuo



Nota: *Diagrama de flujo donde se ve el proceso del ciclo continuo.*

Figura 44

Diseño del control y ciclo continuo



Nota: *Diseño del control donde se puede ver el ciclo continuo de dosificación.*

Tabla 33

Diseño del control y ciclo continuo

Item	Elemento	Acrónimo	Descripción
1	Tanque o tolva de almacenamiento	V	Recipíente para almacenar el producto. Etiqueta VT-101
2	Electroválvula de 2 vías	SV	Electroválvula de dos vías, utilizada para abrir y cerrar el flujo de un solo paso. Etiqueta SV-101
3	Electroválvula de 3 vías	SV	Electroválvula de tres vías, con dos posiciones, usada para alternar entre dos flujos. Etiqueta SV-102
4	Pistón neumático	CY	Cilindro neumático para movimiento lineal, etiquetado como CY-101 y CY-102 para cada pistón.
5	Sensor de nivel	LT	Sensor que mide el nivel del producto en la tolva. Etiqueta LT-101
7	Sensor de proximidad magnetico	LS	Sensor magnético para detectar la posición del pistón neumático. Etiqueta LS-101 y LS-102
8	Sensor de proximidad capacitivo	CS	Sensor capacitivo que detecta la presencia del vaso de plástico y la bandeja, donde se va a dosificar el producto. Etiqueta CS-101, CS-102 y CS-103
9	Sensor de presión de aire	PT	Sensor que mide la presión de ire en el sistema. Etiqueta PT-101
11	Sensor de flujo (caudalímetro)	FT	Sensor que mide el flujo del producto en el proceso. Etiqueta FT-101
12	Banda transportadora	BT	Banda transportadora encargada de transportar los envases para dosificar el producto. Etiqueta BT-101
13	Controlador y indicador (motor)	SIC	Controlador y indicador de velocidad de frecuencia. Etiqueta SIC-101
14	PLC	UC	Módulo de control programable. Etiqueta UC-101

Nota: *Secciones del diseño de control numerada y descrita.*

6.3.2. Definir las necesidades.

Tabla 34

Definición de las necesidades en base a etapas

Proceso	Acrónimo	Etapa
Carga de la Tolva	VT-101-LT-TT	E1: Carga de la mezcla en la tolva (VT-101). El sensor de nivel (LT) monitorea el volumen, y el sensor de temperatura (TT) asegura que la mezcla esté entre 10 y 12°C.
Activación de la Electroválvula 3/2	SV-CY-LS-PT	E2: La electroválvula 3/2 (SV-102) activa el flujo hacia la camisa cilíndrica asociada al pistón neumático (CY-101). Sensores de posición (LS-101) y presión (PT-101) verifican el estado del sistema neumático.
Llenado de la Camisa Cilíndrica	CY-LS	E3: El pistón neumático impulsa la mezcla hacia la camisa cilíndrica. Sensores de posición (LS-101) detectan el límite de llenado y detienen el flujo.
Cambio de Puerto en la Electroválvula 3/2	SV-FT	E4: La electroválvula 3/2 (SV-102) cambia de puerto, redirigiendo el flujo al caudalímetro (FT) para medir y ajustar el flujo.
Dosificación del Helado	SV-FT-CY	E5: La válvula de 2 vías (SV-101) permite el paso al pistón dosificador (CY-102) donde los sensores de posición (LS-102-103) y presión (PT-102) verifican el estado del sistema neumático. El caudalímetro (FT) verifica la estabilidad del flujo antes de la dosificación.
Control y Ciclo Continuo	LT-TT-SV-CY	E6: El sistema monitorea los sensores de nivel (LT) y temperatura (TT) y revisa el llenado de la camisa cilíndrica. Si es necesario, reactiva la electroválvula 3/2 para reiniciar el flujo.

Nota: *Definición de las necesidades en base a etapas en base a la tabla del diseño del control y el ciclo continuo.*

6.3.3. Definir las variables a controlar

Las variables a controlar son las magnitudes y condiciones que debes ser monitoreadas y ajustadas para asegurar el correcto funcionamiento del sistema.

- El flujo de entrada y salida de la de ZI 202-203 y VY 301
- El flujo de dosificación de VY 300
- Nivel en TK-100
- Tiempo de dosificación desde FC-400 hasta VY 300

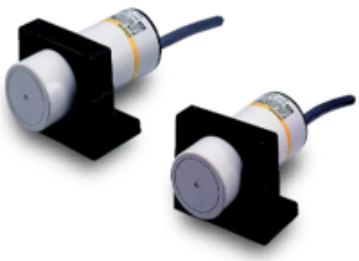
6.3.4. Elección de sensores y actuadores.

Sensores

a. **Sensor de proximidad capacitivo**

Tabla 35

Sensor de proximidad

SENSOR DE PROXIMIDAD CAPACITIVO		
Marca	Omron Automation	
Modelo	E2K-C25M	
Distancia de detección	3 a 25 mm (ajustable)	
Tipo de salida	NO	
Tipo de conexión	NPN/PNP	
Tensión de alimentación	10 a 40 VDC	
Tipo de sensor	Capacitivo	
IP	IP67	
Precio (unidad)	$47.50	

Nota: *Sensor de proximidad y sus características.*

b. **Sensor de proximidad magnético**

Tabla 36

Sensor de proximidad magnético

SENSOR DE PROXIMIDAD MAGNÉTICO		
Marca	Joyzan	
Modelo	CS1-G	
Distancia de detección	3 a 25 mm (ajustable)	
Tipo de salida	NO	
Tipo de conexión	NPN/PNP	
Tensión de alimentación	5-24 VDC	
Tipo de sensor	Inductivo	
Resistencia al impacto	30G	
Precio (unidad)	$6.99	

Nota: *Sensor de proximidad magnético y sus características.*

c. **Caudalímetro**

Tabla 37

Caudalímetro

CAUDALÍMETRO		
Marca	CAUDALÍMETRO	
Modelo	KROHNE	
GK	OPTIFLUX 1000	
Tipo de salida	2.714	
GKL	5.123	
DN	150 mm	
PED	PS1= 16 bar, PS2= 14 bar, PT= 24 bar, TS1 <= 80C, TS2=120C, TT= 20C	
IP	IP66/67	
Precio (unidad)	$570.00	

Nota: *Caudalímetro y sus características.*

d. **Presostato**

Tabla 38

Actuadores

Detección de presión de aire		
Marca	GAMATECH	
Modelo	GTSWF-220V	
Rango	0-145 PSI	
Entrada	220V	
Salida	220V	
Conector	1/2' NPT	
IP	IP 66	
Precio (unidad)	$50.99	

Nota: *En esta tabla se puede verlos Actuadores y sus características.*

a. **Válvula asiento angular de 3 vías**

Tabla 39

Válvula asiento angular de 3 vías

Válvula asiento angular de 3 vías		
Marca	MTV	
Modelo	CF8M	
Presión de control	3-8 bar	
Tipo de conexión	conexión rápida	
Tipo de control	De simple efecto normalmente cerrado, de doble efecto normalmente cerrado, de doble efecto en estado libre	
Precio (unidad)	$26.69	

Nota: *Válvula asiento angular de 3 vías y sus características.*

Boquilla de llenado

b. **Válvula 5/2 vías monoestable**

Tabla 40

Válvula 5/2 vías monoestable

Válvula 5/2 vías monoestable		
Marca	CAMOZZI	
Modelo	EN531-36	
Alimentación	PN3=24VDC	
Poder de combustion	1-2W	
IP	IP65	
Precio (unidad)	$104.17	

Nota: *Válvula 5/2 vías monoestable y sus características.*

d. **Válvula 5/2 vías biestable**

e. **Pistón neumático**

Tabla 41

Pistón neumático

Cilindro Festo DNC 40-80		
Marca	Festo	
Modelo	DNC 40-80	
Diámetro del embolo	40 mm	
Carrera	80 mm	
# de articulación	163354	
Precio (unidad)	$176.07	

Nota: *Pistón neumático y sus características.*

Tabla 42

Pistón neumático

Cilindro Festo DNC 50-300	
Marca	Festo
Modelo	DNC 50-300
Diámetro del embolo	50 mm
Carrera	300 mm
# de articulación	1922634
Precio (unidad)	$367.24

Nota: *Pistón neumático y sus características.*

f. **Variador de frecuencia**

Tabla 43

Variador de frecuencia

Cilindro Festo DNC 50-300	
Marca	Festo
Modelo	DNC 50-300
Diámetro del embolo	50 mm
Carrera	300 mm
# de articulación	192263
Precio (unidad)	$367.24

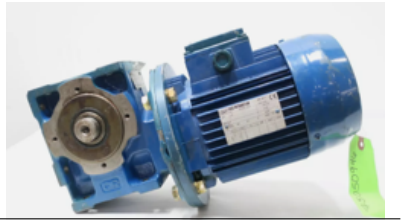
Nota: *Variador de frecuencia y sus características.*

g. **Motor**

Tabla 44

Motor

Variador de freciencia	
Marca	SINAMICS V20
Modelo	6SL3210-5BB13-7UV1
Potencia del motor	0.5-0.37 HP
Corriente de entrada	6.2 A
Corriente de salida	2.3 A
Precio (unidad)	$311.00



Nota: *Motor y sus características.*

6.3.5. Definir número de entradas y salidas

Tabla 45

Entradas y salidas

ENTRADAS Y SALIDAS				
Item	**Cantidad**	**Tipo**	**Componente**	**I/O**
1	5	Sensor	Sensor de nivel en la tolva	Entrada analógica
2	11	Sensor	Sensor de posición en pistones neumáticos	Entrada digital
3	7	Sensor	Sensores de posición (capacitivos)	Entrada digital
4	5	Sensor	Caudalimetro	Entrada analógica
5	5	Sensor	Sensor de presión (presostato)	Entrada analógica
6	5	Sensor	Pulsanteras	Entrada digital
7	1	Actuador	Alarma auditiva	Salida digital
8	7	Actuador	Luminarias	Salida digital
9	5	Actuador	Válvula de tres vías	Salida digital
10	5	Actuador	Válvula de dos vías	Salida digital
11	11	Actuador	Pistones neumáticos	Salida digital
12	1	Actuador	Variador de frecuencia	Salida digital
13	5	Actuador	Boquilla de llenado	Salida digital
14	1	Actuador	Motor	Salida digital

Nota: *En esta tabla se puede ver las Entradas y salidas.*

6.3.6. Selección del controlador

Luego de identificar los sensores y actuadores que se utilizarán en el proceso de dosificación, se procede a la selección del controlador adecuado. Se opta por un PLC (Controlador Lógico Programable) debido a su facilidad para integrar diversos dispositivos del sistema. Este controlador permite programar y modificar el proceso según sea necesario, lo que resulta crucial en un entorno donde los parámetros, como la cantidad dosificada y los tiempos de operación, pueden requerir ajustes constantes. Además, su capacidad para manejar múltiples entradas y salidas digitales o analógicas lo convierte en la opción ideal para gestionar sensores de proximidad, electroválvulas y otros elementos del sistema. Como parte del diseño, se implementará una interfaz máquina-usuario (HMI) para facilitar la interacción con el sistema, permitiendo a al operador monitorear el proceso en tiempo real, realizar ajustes y responder eficientemente a cualquier eventualidad.

Para la selección del controlador y la interfaz HMI, se consideran dos marcas de reconocido prestigio en el ámbito industrial: Siemens y Mitsubishi. Se realizaron pruebas exhaustivas con los PLC y HMI de ambas marcas, evaluando aspectos clave como la capacidad de integración, facilidad de programación, velocidad de respuesta y experiencia de usuario. Para realizar las pruebas con Siemens se escogió el PLC S7-1500 y el HMI KTP400 ya que estos instrumentos se encuentran implementados en los bancos de trabajo del laboratorio de Redes Industriales. Además se utilizó el software TIAPortal para realizar la programación y FactoryIO para realizar la simulación.Para realizar las pruebas con Mitsubishi se escogió el PLC FX3GE-40MR/ES y el HMI CMT3090 de la marca WEINTEK, estas pruebas se pudieron realizar gracias a las practicas que se realizó en la empresa Indurama fuera del horario laboral. Para la configuración de cada instrumente se utilizó dos programas diferentes. Para el PLC se utilizo el software GX Work2 y para el HMI el software EasyBuilder PRO.

Durante las pruebas, Siemens destacó por su software TIA Portal, que proporcionó una interfaz más intuitiva y herramientas avanzadas para la configuración y el monitoreo del sistema. Además, la sincronización entre el PLC y el HMI de Siemens permitió un control más preciso y una mejor experiencia operativa en comparación con Mitsubishi. Con base en estos resultados, seleccionó Siemens como la marca preferida, asegurando un desempeño óptimo para el sistema de dosificación. Para la propuesta de control se decidió cambiar el PLC S7-1500 por un PLC S7-1200, esto por tema de costos ya que comparando los dos PLC´s y teniendo en cuenta el número de entradas y salidas que se necesita para controlar el sistema de dosificado el PLC S7-1200 cumple con las necesidades. Es importante que no se pudo realizar de manera directa las pruebas con el PLC S7-1200 (6ES7214-1BG40-0XB0 Siemens)

ya que no se cuenta con un dispositivo físico en los laboratorios de la universidad por eso se opto utilizar el PLC S7-1500. Por el número de entradas y salidas digitales y analógicas se decidió agregar módulos (100260611-100262429-100262443).

Figura 45

PLC siemens S71500 (6ES7215-1BG40-0XB0)- 14 DI a 24 VDC, 10 DO tipo relé, 2 AI (0-10VDC), 2 AO (0/4-20mA)

Nota: *PLC siemens S71500 (6ES7215-1BG40-0XB0)- 14 DI a 24 VDC, 10 DO tipo relé, 2 AI (0-10VDC), 2 AO (0/4-20mA).*

Figura 46

(100260611) SM1223 Módulo de señal de 16DI a 24VDC + 16DO a 24VDC

Nota: *(100260611) SM1223 Módulo de señal de 16DI a 24VDC + 16DO a 24VDC.*

Figura 47

(100262443) SM1231 Módulo de señal de 4 entradas analógicas. Configurables como V/mA

Nota: *(100262443) SM1231 Módulo de señal de 4 entradas analógicas. Configurables como V/mA.*

Figura 48

(100262429) SM1231 Módulo de señal de 8 entradas analógicas. Configurables como V/mA

Nota: *(100262429) SM1231 Módulo de señal de 8 entradas analógicas. Configurables como V/mA.*

Por otro lado, seleccione el HMI KTP400, que cuenta con una pantalla táctil de 4 pulgadas y cuatro teclas de función. Este dispositivo tiene una pantalla TFT de alta resolución con 64.000 colores y un formato panorámico. Además, ofrece conectividad a través de PROFINET / Industrial Ethernet y USB. Su configuración se realiza mediante el software TIA PORTAL

WinCC.

Figura 49

Interfaz de TIA PORTAL

Nota: *Interfaz de TIA PORTAL.*

Propuesta de control

Una vez seleccionado el PLC y el HMI se procede a hacer el programa en el software de TIAPORTAL V15, para el PLC siemens S7 1200, conjuntamente con el software Factory IO para realizar la simulación del proceso. Ya que no se cuenta con el PLC real, se tomó la opción de trabajar con un PLC virtual para esto se debe descargar la plantilla "FactoryIO-Template-S7-1200-V15".

Figura 50

Plantilla en la interfaz virutal de FactoryIO

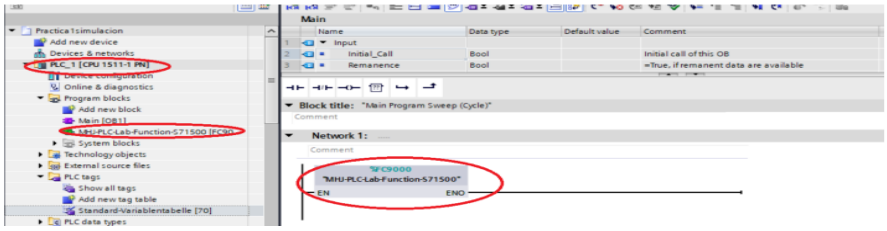
Plantillas para TIA Portal V15	Acción
FactoryIO_Template_S7-1500_V15.zip	Descargar
FactoryIO_Template_S7-1200_V15.zip	Descargar

Nota: *Plantilla en la interfaz virutal de FactoryIO.*

Una vez descargada la plantilla se agrega al software de TIAPortal para comenzar a realizar la programación.

Figura 51

Integración con TIAPortal



Nota: *Integración con TIAPortal.*

Dentro del software TIA-PORTAL se agregará los módulos los cuales deben ser los mismos del banco de trabajo para realizar la simulación del proceso y las pruebas.

Figura 52

Integración con TIAPortal con módulos del banco de trabajo

Nota: *Integración con TIAPortal con módulos del banco de trabajo.*

Luego de configurar los módulos a utilizar se procede a hacer la tabla de variables, identificando entradas y salidas analógicas o digitales.

Figura 53

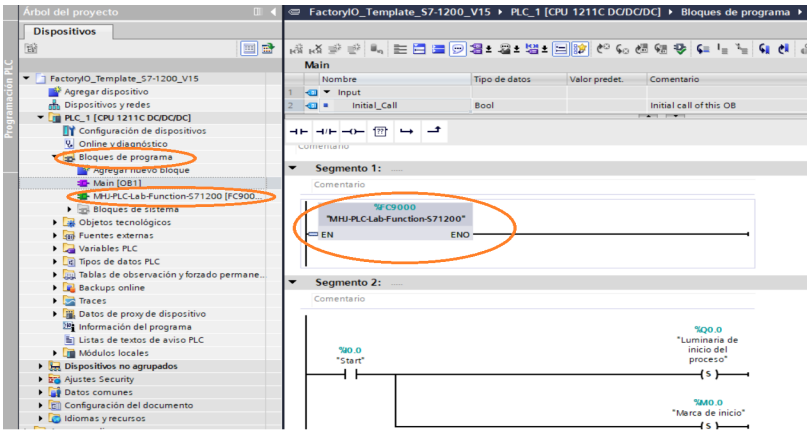
Creación de la tabla de variables

Nota: *Creación de la tabla de variables.*

Una vez clasificada las variables se procederá a programar en el bloque de programa "MAIN"

Figura 54

Programación en el bloque de programa "MAIN"



Nota: *Programación en el bloque de programa "MAIN".*

Para la simulación del programa y del proceso de dosificación en FactoryIO se debe configurar el drive dependiendo de las entradas y salidas que se configuro en TIAPortal, luego de realizar las configuraciones necesarias se procede a conectar el PLC vistual con Factory

generando así las simulaciónes del proceso de dosificación.

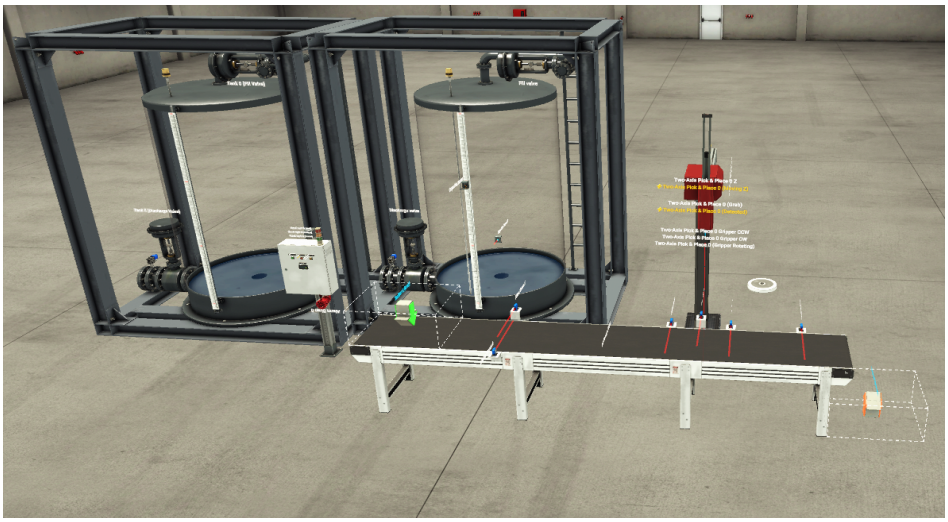
Figura 55

Configuración del drive

Nota: *Configuración del drive.*

Figura 56

Simulación del sistema de dosificado en FactoryIO

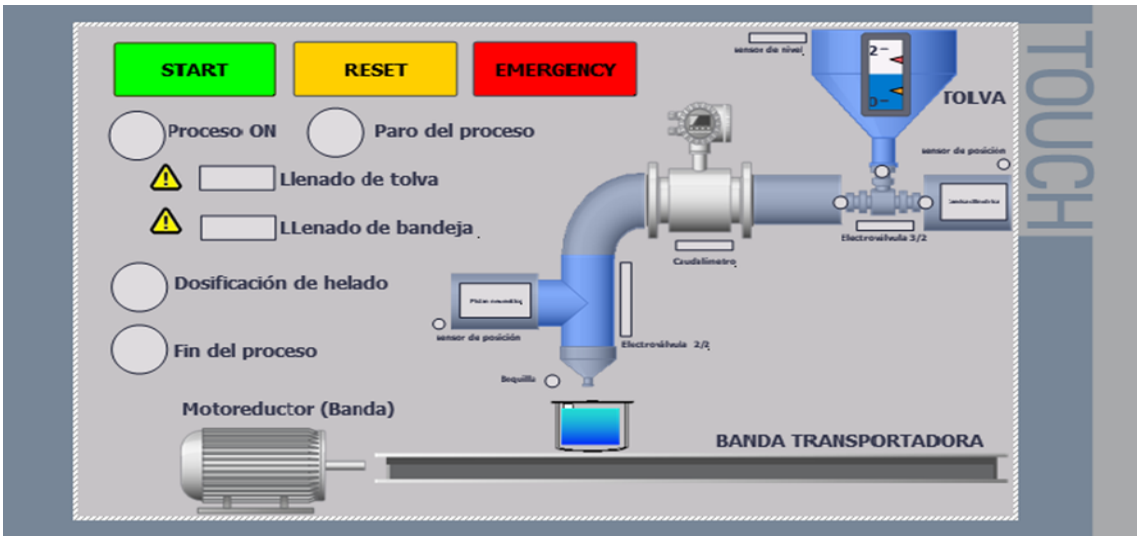


Nota: *Simulación del sistema de dosificado en FactoryIO.*

Tras la simulación del programa en Factory, se llevó a cabo las pruebas en el laboratorio de automatización industrial, donde el programa fue ajustado con las variables reales del sistema. Durante esta etapa, se inició la conexión entre el PLC, HMI y un variador de frecuencia mediante un switch, utilizando comunicación vía ethernet. La verificación de la comunicación se realizó mediante comandos cmd, ejecutando pruebas de conectividad para confirmar la correcta asignación de las direcciones IP de cada dispositivo. Posteriormente, una vez escrito el programa en el PLC se realizó la configuración del HMI. Finalmente luego de realizar las configuraciones de todos los elementos se procedió a realizar las pruebas y validar la propuesta de control.

Figura 57

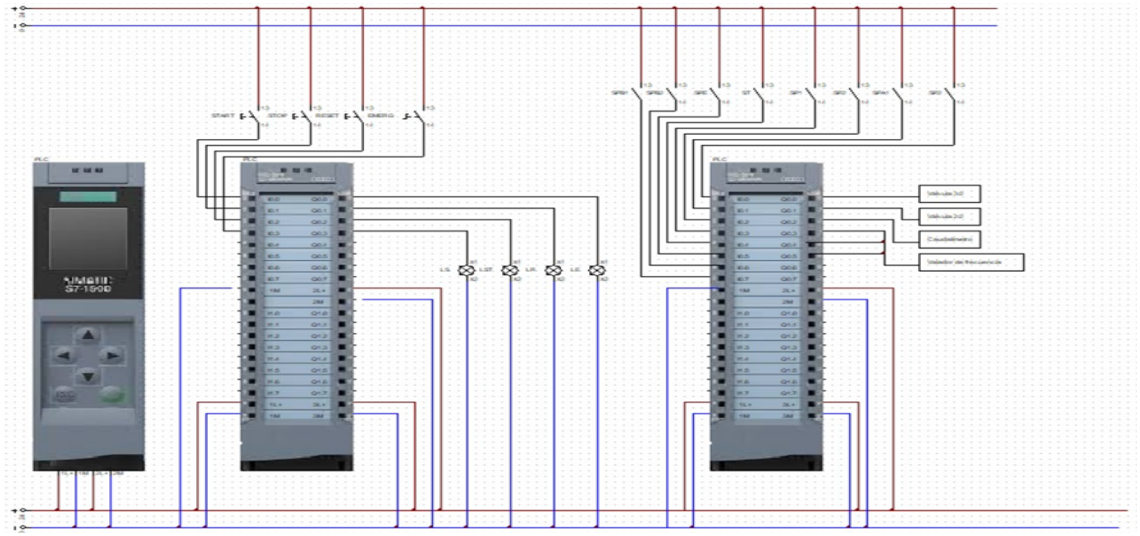
Salida del programa en el HMI



Nota: *Salida del programa en el HMI.*

Figura 58

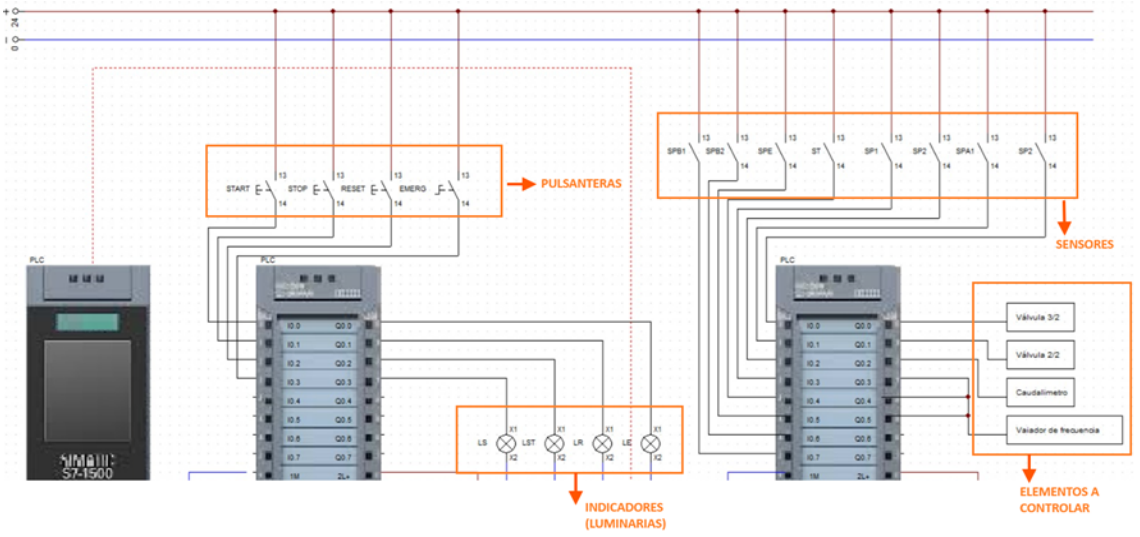
Simulación del sistema de Control



Nota: *Simulación del sistema de Control.*

Figura 59

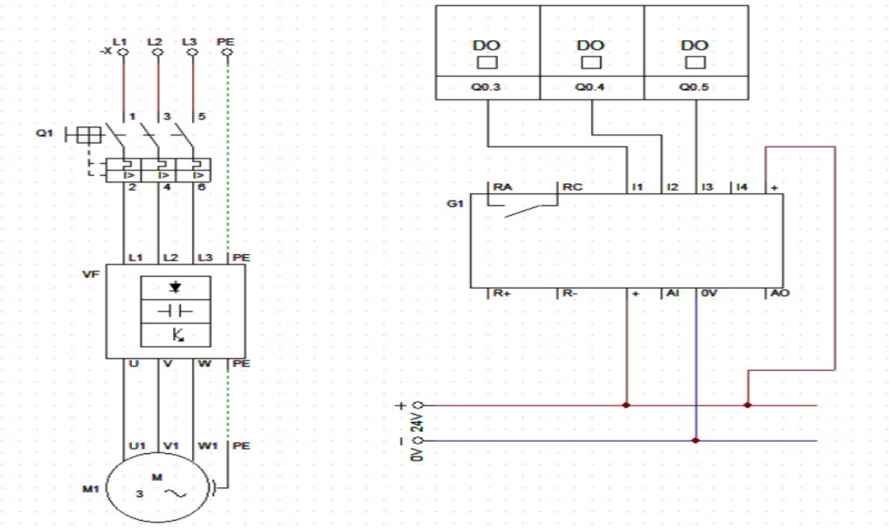
Simulación del sistema de Control



Nota: *Simulación del sistema de Control.*

Figura 60

Circuito esquemático del sistema de control



Nota: *Circuito esquemático del sistema de control.*

6.4. Realizar un análisis de costo del sistema mecatrónico de dosificado de helado en el emprendimiento Bigotes de leche

El análisis económico tiene como finalidad examinar la viabilidad económica del proyecto y establecer su factibilidad. Según Chan S. Park (2009), dicho estudio constituye un componente esencial en la ingeniería, ya que permite a los especialistas evaluar la sostenibilidad monetaria de sus propuestas. En esta sección se presentarán los costos asociados a la implementación, la inversión inicial, los flujos de capital, entre otros aspectos. Para el sistema mecatrónico de control de flujo de dosificación de helado en el emprendimiento de Bigotes de Leche. Como fase inicial, se elaboró una tabla detallando los materiales requeridos para el desarrollo del sistema. Este registro incluye 56 componentes, clasificados por modelo, cantidad, precio unitario, costo total por artículo y datos del proveedor. Posteriormente, se realizó la sumatoria del valor total de los elementos, obteniendo un monto de $20.394,50. Tras determinar el costo total de los materiales, se calculó el punto de equilibrio. De acuerdo con Chan S. Park (2009), el análisis del punto de equilibrio constituye una herramienta clave en la administración financiera de un negocio, ya que permite establecer el volumen de ventas necesario para cubrir la totalidad de los costos y generar utilidades. Este umbral se alcanza cuando los ingresos obtenidos por

la comercialización de los productos igualan la suma de los costos fijos y variables, lo que indica que, a partir de dicho nivel de ventas, la empresa comienza a obtener rentabilidad.

Tabla 46

Punto de Equilibrio

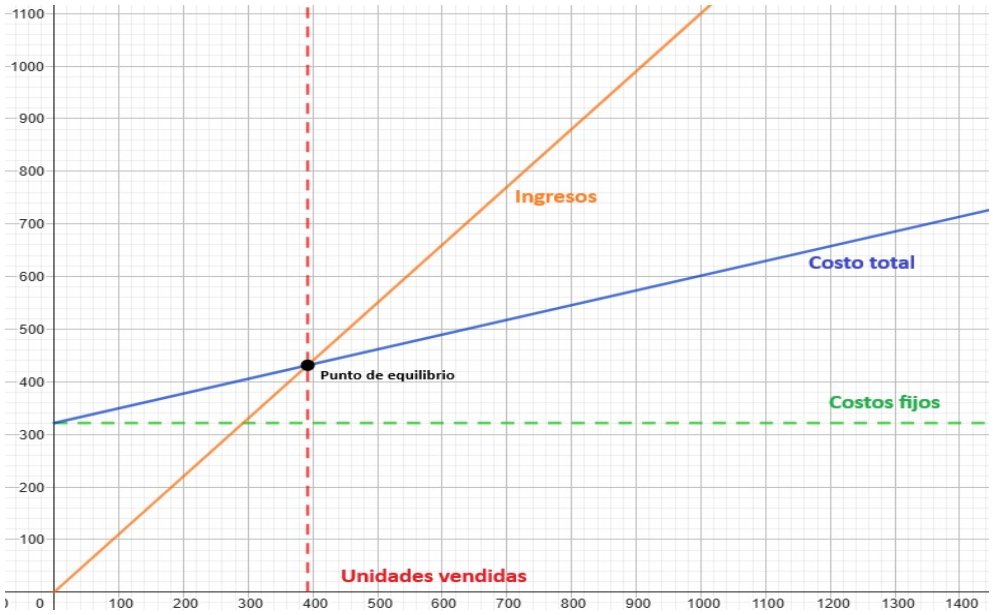
Punto de equilibrio									
Costo-Volumen-Utilidad									
	Valor (mensual)								
Precio de venta (unidad)	$ 1,10								
Costo variable (unidad)	$ 0,28								
Costo fijo	$ 321,50								
# unidades	**1**	**100**	**200**	**300**	**392**	**400**	**500**	**600**	**700**
Ingreso	$1,10	$110,00	$220,00	$330,00	$431,20	$440,00	$550,00	$660,00	$770,00
CV	$0,28	$28,00	$56,00	$84,00	$109,76	$112,00	$140,00	$168,00	$196,00
Utilidad bruta	$0,82	$82,00	$164,00	$246,00	$321,44	$328,00	$410,00	$492,00	$574,00
CF	$321,50	$321,50	$321,50	$321,50	$321,50	$321,50	$321,50	$321,50	$321,50
Utilidad operativa	$320,68	$239,50	$157,50	$75,50	$0,06	$6,50	$88,50	$170,50	$252,50

Nota: *Punto de equilibrio respecto a la utilidad operativa de Bigotes de leche*

En el emprendimiento Bigotes de Leche, se ha determinado el punto de equilibrio considerando un precio de venta por unidad de $1.10, un costo variable unitario de $0.28 y gastos fijos mensuales de $321.50. Con estos parámetros, se ha calculado que el umbral de equilibrio se alcanza con la comercialización de 392 unidades al mes, momento en el cual se genera una utilidad operativa de $0.06. Esto implica que, una vez superado este nivel de ventas, el negocio comienza a registrar beneficios netos.

Figura 61

Punto de Equilibrio



Nota: *Punto de equilibrio teniendo en cuenta las utilidades mensuales.*

Una vez establecido el punto de equilibrio, se procede a estimar los costos indirectos. Para ello, se diseñó una tabla en la que se detallan los principales conceptos asociados a estos diseños. Se incluyen gastos mensuales como el servicio de Internet, licencias de software para diseño, programación y simulación, transporte, alimentación, consumo de servicios básicos, arrendamiento y otros. El cálculo se realizó en tres etapas: inicialmente, se calcula el gasto mensual de cada artículo mediante la multiplicación de la cantidad requerida por su valor unitario; posteriormente, se obtuvo el costo total mensual sumando todos los rubros y finalmente, se proyectó el monto anual multiplicando el total mensual por el número de meses del año. Como resultado, se obtuvo un costo anual de $10.696,08 correspondiente a los gastos indirectos del sistema propuesto.

Tabla 47

Costos indirectos del sistema propuesto

COSTOS INDIRECTOS DEL SISTEMA PROPUESTO					
Denominación	**Cantidad mensual**	**Costo mensual**	**Total Mensual**	**Cantidad anual**	**Costo anual**
Internet	1	$15	$15	12	$180
Software de diseño	1	$357	$357	6	$2.142
Software de programación	1	$77,68	$78	6	$466
Software de simulación	1	$28	$28	6	$168
Transporte	30	$3,50	$105	12	$1.260
Alimentación	30	$3	$90	12	$1.080
Servicios básicos	1	$50	$50	12	$600
Alquiler	1	$250	$250	12	$3.000
Otros	1	$300	$300	6	$1.800
		TOTAL:	$1.273	**TOTAL:**	$10.696,08

Nota: *Costos indirectos total de forma anual del sistema propuesto*

Por otro lado, se elaboró una tabla específica para calcular los costos asociados a la mano de obra especializada, los cuales abarcan las actividades requeridas para la fabricación y ensamblaje del sistema. Dentro de estos gastos se incluyen la construcción de la estructura, la instalación de los componentes mecánicos, la implementación del sistema eléctrico y electrónico, así como la programación del control del sistema. Para la estimación, se demostró el costo de la mano de obra profesional en función de los equipos de trabajo y los especialistas que serán contratados para cada una de estas actividades. Como resultado, el costo total proyectado para la mano de obra técnica asciende a $5,900 dólares.

Tabla 48

Costos de mano de obra técnica

COSTO DE MANO DE OBRA TÉCNICA (sub contratado)	
Denominación	**Valor**
Procesos (Equipos+ Mano de obra)	
Construcción de la estructura y montaje de elementos	$5.000
Instalación del sistema electrico y electrónico	$600
Programación del sistema	$300
TOTAL	$5.900

Nota: *Costos de mano de obra del sistema propuesto*

Tras la determinación de los costos indirectos del sistema planteado y los gastos asociados a la mano de obra especializada, se elaboró una tabla para calcular el costo global de implementación, considerando un margen del 5 % para imprevistos. En esta evaluación se

incluyen los costos directos, correspondientes a los insumos, cuyo valor asciende a $20,394.50, así como los costos de mano de obra técnica, estimados en $5,900. Además, se integran los costos indirectos anuales, los cuales alcanzan un total de $10,696.80. La sumatoria de estos tres componentes da como resultado un subtotal de $36,990.58. Posteriormente, se aplicó un 5 % adicional destinado a cubrir posibles imprevistos, obteniendo un costo final de implementación del sistema de $38,728.81. Este monto representa la inversión total requerida para la fabricación de la máquina diseñada en el proyecto.

Tabla 49

Costo total de implementacióna

COSTO TOTAL DE IMPLEMENTACIÓN (con imprevistos del 5 %)	
	Costo (USD)
Costos directos	
Insumos y elementos	$20.394,50
Mano de obra técnica (subcontratado)	$5.900
Costos Indirectos	
Internet	$180
Software de diseño	$2.142
Software de programación	$466
Software de simulación	$168
Transporte	$1.260
Alimentación	$1.080
Servicios básicos	$600
Alquiler	$3.000
Otros	$1.800
Total Costos Indirectos	$10.696,08
Subtotal	**$36.990,58**
Imprevistos (5 %)	**$1.738,23**
Costo Total de Implementación	**$38.728,81**

Nota: *Costo total del sistema propuesto con un 5 % de imprevistos*

Una vez determinado el costo total de implementación del sistema, equivalente a $38,728.81, se procede a calcular la depreciación de la máquina a lo largo del tiempo. De acuerdo con la ley orgánica de régimen tributario interno, la depreciación de los activos fijos se llevará a cabo conforme a las características de los bienes, su período de vida útil y el método contable aplicado. (pag. 19) La tasa de depreciación aplicable a equipos utilizados en la industria alimentaria es del 20 % anual. Con base en este porcentaje, se estima la depreciación correspondiente al primer año, obteniendo un monto de $7,745.76, el cual se deduce del valor inicial. Como resultado, al finalizar el primer período, el valor contable del activo se reduce a $30,983.05. Para el segundo año, el procedimiento se repite considerando como base el

saldo residual del periodo anterior. Es decir, se aplica nuevamente una depreciación del 20 % sobre los $30,983.05, disminuyendo progresivamente el valor contable de la máquina con el transcurso del tiempo. Este enfoque permite reflejar la reducción del valor del bien debido al uso y desgaste natural, garantizando una evaluación más precisa de su depreciación a lo largo de su vida útil.

Tabla 50

Depreciación de la máquina

Costo de la máquina		
Año	**Depreciación (20 %)**	**Costo de la máquina**
1	$ 7.745,76	$ 30.983,05
2	$ 6.196,61	$ 24.786,44
3	$ 4.957,29	$ 19.829,15
4	$ 3.965,83	$ 15.863,32
5	$ 3.172,66	$ 12.690,66

Nota: *Depreciación y el costo del sistema en el transcurso de 5 años.*

Luego de determinar la depreciación de la máquina durante un período de cinco años, se procede al cálculo de la Tasa de Rentabilidad Mínima Aceptable (TREMA), también conocida como tasa de actualización. Esta tasa es un parámetro fundamental en la evaluación financiera del proyecto, ya que representa el rendimiento mínimo esperado para justificar la inversión. En este caso, la TREMA se obtiene a partir de la suma de la tasa de inflación y el riesgo país correspondiente a Ecuador. Según los datos recientes, la inflación anual se ha registrado en un 3,72 %, mientras que el riesgo país asciende al 12,25 %. Como resultado, la TREMA aplicada para el análisis financiero del proyecto es del 16 %.

Tabla 51

TREMA

Trema
inflación + prima al riesgo
3,74 %+12,25 %
16 %

Nota: *Suma de la inflación y el riesgo país del Ecuador dando como resultado la tasa de rentabilidad mínima aceptable.*

El costo total de inversión del equipo en el año cero asciende a $38,728.81. Sin embargo, dado que el emprendimiento Bigotes de Leche no dispone de la totalidad de este capital, se

proyecta la adquisición de un préstamo por un monto de $37,000. Este financiamiento se estructura bajo un esquema de anualidades a cinco años, con una tasa de interés efectivo anual entre el 11 % y el 15 % referente a la Mutualista Azuay. Como resultado, la propietaria del emprendimiento deberá realizar una inversión adicional de $1,728.81 para completar el costo total del equipo. Para evaluar el impacto financiero del préstamo, se determina el saldo inicial de cada año, el pago de intereses calculado al 15 %, el pago del capital correspondiente y el saldo final después de cada período.

Tabla 52

Préstamo bancario con una tasa del 15 %

Préstamo		$ 37.000,00	5 pagos	15 %
Año	**Saldo Inicial**	**Pago de Interes(15 %)**	**Pago Capital**	**Saldo Final**
1	$ 37.000,00	$ 5.550,00	$ 5.487,68	$ 31.512,32
2	$ 31.512,32	$ 4.025,78	$ 5.374,83	$ 26.137,49
3	$ 26.137,49	$ 2.670,42	$ 5.126,80	$ 21.010,69
4	$ 21.010,69	$ 1.528,45	$ 4.739,37	$ 16.271,32
5	$ 16.271,32	$ 633,13	$ 4.220,86	$ 12.050,46

Nota: *Saldo inicial, el pago de interés, el pago de capital y el saldo final en el transcurso de 5 años.*

Asimismo, se establecerán las anualidades a pagar durante los cinco años de financiamiento. Una vez obtenidos estos valores, se procede a elaborar una tabla detallada que incluye el impuesto sobre el préstamo y otros factores relevantes para el análisis financiero de la inversión.

Tabla 53

Anualidades del préstamo bancario con una tasa del 15 %

	Anualidades (15 %)
1	$ 11.037,68
2	$ 9.400,62
3	$ 7.797,22
4	$ 6.267,82
5	$ 4.853,99

Nota: *Anualidades que el emprendimiento deberá pagar en el transcurso de los años.*

Tabla 54

Datos iniciales

Datos	
Impuesto	15%
Trema	16%
Vida del proyecto	5
Inversión	$ 38.728,81
Unidades vendidas mensualmente	$ 3.000,00
Precio unitario de venta	$ 0,50
Valor de salvamento	$ 3.872,88

Nota: *Datos iniciales los cuales servirán para determinar el estado de flujos de efectivo.*

Después de determinar los parámetros financieros iniciales, como el impuesto, la tasa de rendimiento mínima aceptable (trema), la vida útil del proyecto y la inversión inicial, se procede a elaborar la tabla de ventas anuales para un período de cinco años. Esta tabla considera tres escenarios de precios de venta: pesimista, probable y optimista. En el escenario pesimista, el precio de venta por unidad de helado se establece en 0,50 dólares, representando el valor más bajo con el que la empresa Bigotes de Leche podría operar. En el escenario más probable, el precio por unidad es de 1,10 dólares, reflejando la tarifa actual del producto en el mercado y proporcionando una estimación realista del desempeño financiero. Finalmente, en el escenario optimista, el precio de venta aumenta a 1,20 dólares, considerando una proyección favorable para el crecimiento del negocio. Además, se supone un incremento anual del 5% en las ventas o ingresos, reflejando un crecimiento progresivo de la demanda a lo largo del período de análisis

Tabla 55

Ventas anuales

Ventas Anuales			
Año	**Pesimista**	**Más Probable**	**Optimista**
1	18000,00	39600,00	43200,00
2	18900,00	41580,00	45360,00
3	19845,00	43659,00	47628,00
4	20837,25	45841,95	50009,40
5	21879,11	48134,05	52509,87

Nota: *Ingresos anuales por venta de la empresa con un crecimiento del 5% en cada año, estas ventas se determinan en tres escenarios donde el precio de venta por unidad varia.*

Una vez determinada la tabla de ventas anuales en los tres escenarios planteados, se

procede a realizar el análisis de estados de flujo de efectivo, considerando variables económicas esenciales. Este análisis incorpora factores como la inflación anual de los costos variables, el incremento de los costos fijos y las depreciaciones, establecidas en un 20 % anual. Además, se considera el crecimiento del 5 % en ingresos y costos de manera acumulativa, así como los precios de venta y otros gastos, incluyendo costos variables indirectos, costos indirectos, intereses del crédito y depreciaciones. Con estos datos, se calcula el ingreso gravable, al cual se le aplica un impuesto sobre la renta del 25 %, obteniendo así el ingreso neto anual.

Tabla 56

Variación del precio de venta

Variación del precio de venta	
Años	**Porcenta (incremento)**
1	5 %
2	5 %
3	5 %
4	5 %
5	5 %

Nota: *Porcentaje de variación que va en incremento cada año para las ventas.*

Posteriormente, el flujo de efectivo se clasifica en actividades operativas, de inversión y financieras, lo que permite evaluar la capacidad del emprendimiento para cubrir sus obligaciones crediticias garantizando su viabilidad económica. A partir de este análisis, se calculan indicadores claves para medir la rentabilidad del proyecto: Valor Presente Neto (VPN), Costo Anual Uniforme (CAUE) y Tasa Interna de Retorno (TIR). El VPN se obtiene descontando los flujos de caja futuros y comparándolos con la inversión inicial, determinando si el proyecto generará valor a lo largo del tiempo. Un resultado positivo indica rentabilidad, mientras que un valor negativo sugiere lo contrario. El CAUE, en cambio, representa el costo equivalente anualizado, facilitando la comparación con otras opciones de inversión. Finalmente, la TIR mide la rentabilidad interna del proyecto y corresponde a la tasa de descuento en la que el VPN es igual a cero. Para que la inversión sea viable, la TIR debe ser superior a la TREMA, que represente la tasa mínima de rendimiento esperada. Si esta condición se cumple, se concluye que el emprendimiento es sostenible y rentable, permitiendo cubrir costos, obligaciones financieras y generar ganancias a lo largo del tiempo.

6.4.1. Escenario pesimista

Tabla 57

Datos iniciales para el escenario pesimista

Datos	
Costo de Inversión del Equipo año 0	$ 38.728,81
Costos fijos anuales año 0	$ 3.858,00
Precio de venta	$ 0,50
Costo variable	$ 10.080,00
Periodo de estudio años	5,00
Vida Fiscal años	4,00
Valor de Rescate	$ 3.872,88

Nota: *Datos iniciales para determinar los estados de flujo de efectivo en el escenario pesimista donde el precio de venta por unidad será de $0,50.*

Tabla 58

Determinación de los estados de flujo de manera anual en el escenario pesimista

Costo Variable	$ 0,28	$ 0,29	$ 0,30	$ 0,32	$ 0,34	$ 0,36
Precios venta	$ 0,50	$ 0,55	$ 0,60	$ 0,65	$ 0,70	$ 0,75
Fin del año	0	1	2	3	4	5
Ingresos (Precio de venta)	$ 0,50	$9.900	$11.340	$12.899	$14.586	$16.409
Gastos:						
Costos Fijos	$ 3.858,00	$ 4.243,80	$ 4.668,18	$ 5.135,00	$ 5.648,50	$ 6.213,35
Costos Variables	$ 10.080,00	$ 5.220,00	$ 5.575,50	$ 6.350,40	$ 7.084,67	$ 7.876,48
Indirectos		$ 11.570,72	$ 11.570,72	$ 11.570,72	$ 11.570,72	$ 11.570,72
Intereses del crédito		$ 5.550,00	$ 4.025,78	$ 2.670,42	$ 1.528,45	$ 633,13
Depreciación		$ 7.745,76	$ 6.196,61	$ 4.957,29	$ 3.965,83	$ 3.172,66
Ingresos gravables		-$24.430,28	-$20.696,79	-$17.784,58	-$15.212,08	-$13.057,00
Impuesto sobre la renta (25%)		-$ 6.107,57	-$ 5.174,20	-$ 4.446,14	-$ 3.803,02	-$ 3.264,25
Ingreso neto		-$18.322,71	-$15.522,60	-$13.338,43	-$11.409,06	-$9.792,75
Estados de flujos de efectivo						
Actividades operativas						
Ingreso neto		-$18.322,71	-$15.522,60	-$13.338,43	-$11.409,06	-$9.792,75
Depreciación		$ 7.745,76	$ 6.196,61	$ 4.957,29	$ 3.965,83	$ 3.172,66
Actividades de inversión						
Máquina	-$ 38.728,81					
Valor de rescate						$ 3.872,88
Impuesto sobre las ganancias						$ 11.851,02
Capital de trabajo						
Actividades financieras						
Fondos crediticios	$ 37.000,00					
Pago del capital		$ 5.487,68	$ 5.374,83	$ 5.126,80	$ 4.739,37	$ 4.220,86
	-$ 1.728,81	-$ 16.064,63	-$14.700,82	-$13.507,94	-$12.182,60	$4.882,94
VPN	($ 1.728,81)					
CAUE	($ 345,76)					
TIR	#NUM!					

Nota: *Estados de flujo del emprendimiento Bigotes de Leche en el transcurso de 5 años en un escenario pesimista.*

6.4.2. Escenario probable

Tabla 59

Datos iniciales para el escenario probable

Datos	
Costo de Inversión del Equipo año 0	$ 38.728,81
Costos fijo	$ 3.858,00
Precio de venta	$ 1,10
Costo variable	$ 10.080,00
Periodo de estudio años	5,00
Vida Fiscal años	4,00
Valor de Rescate	$ 3.872,88

Nota: *Datos iniciales para determinar los estados de flujo de efectivo en el escenario probable donde el precio de venta por unidad será de $1,10.*

Tabla 60

Determinación de los estados de flujo de manera anual en el escenario probable

Costo Variable	$ 0,28	$ 0,29	$ 0,30	$ 0,32	$ 0,34	$ 0,36
Precios venta	$ 1,10	$ 1,15	$ 1,20	$ 1,25	$ 1,30	$ 1,35
Fin del año	0	1	2	3	4	5
Ingresos (Precio de venta)	$ 1,10	$45.540	$49.896	$54.574	$59.595	$64.981
Gastos:						
Costos Fijos	$ 3.858,00	$ 4.243,80	$ 4.668,18	$ 5.135,00	$ 5.648,50	$ 6.213,35
Costos Variables	$ 10.080,00	$ 5.220,00	$ 5.575,50	$ 6.350,40	$ 7.084,67	$ 7.876,48
Indirectos		$ 10.696,08	$ 10.696,08	$ 10.696,08	$ 10.696,08	$ 10.696,08
Intereses del crédito		$ 5.550,00	$ 4.025,78	$ 2.670,42	$ 1.528,45	$ 633,13
Depreciación		$ 7.745,76	$ 6.196,61	$ 4.957,29	$ 3.965,83	$ 3.172,66
Ingresos gravables		$12.084,36	$18.733,85	$24.764,56	$30.671,02	$36.389,27
Impuesto sobre la renta (25%)		$ 3.021,09	$ 4.683,46	$ 6.191,14	$ 7.667,75	$ 9.097,32
Ingreso neto		$9.063,27	$14.050,38	$18.573,42	$23.003,26	$27.291,95
Estados de flujos de efectivo						
Actividades operativas						
Ingreso neto		$9.063,27	$14.050,38	$18.573,42	$23.003,26	$27.291,95
Depreciación		$ 7.745,76	$ 6.196,61	$ 4.957,29	$ 3.965,83	$ 3.172,66
Actividades de inversión						
Máquina	-$ 38.728,81					
Valor de rescate						$ 3.872,88
Impuesto sobre las ganancias						$ 2.204,44
Capital de trabajo						
Actividades financieras						
Fondos crediticios	$ 37.000,00					
Pago del capital		$ 5.487,68	$ 5.374,83	$ 5.126,80	$ 4.739,37	$ 4.220,86
	-$ 1.728,81	$ 11.321,35	$14.872,16	$18.403,91	$22.229,72	$32.321,08
VPN	$ 58.556,45					
CAUE	$ 17.879,52					
TIR	685%					

Nota: *Estados de flujo del emprendimiento Bigotes de Leche en el transcurso de 5 años en un escenario probable.*

6.4.3. Escenario optimista

Tabla 61

Datos iniciales para el escenario optimista

Datos	
Costo de Inversión del Equipo año 0	$ 38.728,81
Costos fijos anuales año 0	$ 3.858,00
Precio de venta	$ 1,20
Costo variable	$ 10.080,00
Periodo de estudio años	5,00
Vida Fiscal años	4,00
Valor de Rescate	$ 3.872,88

Nota: *Datos iniciales para determinar los estados de flujo de efectivo en el escenario optimista donde el precio de venta por unidad será de $1,20.*

Tabla 62

Determinación de los estados de flujo de manera anual en el escenario optimista

Costo Variable	$ 0,28	$ 0,29	$ 0,30	$ 0,32	$ 0,34	$ 0,36
Precios venta	$ 1,20	$ 1,25	$ 1,30	$ 1,35	$ 1,40	$ 1,45
Fin del año	0	1	2	3	4	5
Ingresos (Precio de venta)	$ 1,20	$54.000	$58.968	$64.298	$70.013	$76.139
Gastos:						
Costos Fijos	$ 3.858,00	$ 4.243,80	$ 4.668,18	$ 5.135,00	$ 5.648,50	$ 6.213,35
Costos Variables	$ 10.080,00	$ 5.220,00	$ 5.575,50	$ 6.350,40	$ 7.084,67	$ 7.876,48
Indirectos		$ 11.570,72	$ 11.570,72	$ 11.570,72	$ 11.570,72	$ 11.570,72
Intereses del crédito		$ 5.550,00	$ 4.025,78	$ 2.670,42	$ 1.528,45	$ 633,13
Depreciación		$ 7.745,76	$ 6.196,61	$ 4.957,29	$ 3.965,83	$ 3.172,66
Ingresos gravables		$19.669,72	$26.931,21	$33.613,97	$40.215,00	$46.672,98
Impuesto sobre la renta (25%)		$ 4.917,43	$ 6.732,80	$ 8.403,49	$ 10.053,75	$ 11.668,24
Ingreso neto		$14.752,29	$20.198,40	$25.210,48	$30.161,25	$35.004,73
Estados de flujos de efectivo						
Actividades operativas						
Ingreso neto		$14.752,29	$20.198,40	$25.210,48	$30.161,25	$35.004,73
Depreciación		$ 7.745,76	$ 6.196,61	$ 4.957,29	$ 3.965,83	$ 3.172,66
Actividades de inversión						
Máquinaria	-$ 38.728,81					
Valor de rescate						$ 3.872,88
Impuesto sobre las ganancias						$ 2.998,04
Capital de trabajo						
Actividades financieras						
Fondos crediticios	$ 37.000,00					
Pago del capital		$ 5.487,68	$ 5.374,83	$ 5.126,80	$ 4.739,37	$ 4.220,86
	-$ 1.728,81	$ 17.010,37	$21.020,18	$25.040,97	$29.387,71	$40.827,46
VPN	$ 131.557,88					
CAUE	$ 26.311,58					
TIR	1007%					

Nota: *Estados de flujo del emprendimiento Bigotes de Leche en el transcurso de 5 años en un escenario optimista.*

Tras analizar los tres escenarios (pesimista, probable y optimista), se concluye que en el escenario pesimista, el emprendimiento de Bigotes de Leche no podrá cubrir ni siquiera las anualidades del préstamo. Esto se debe a que los ingresos, calculados como el producto del costo variable por el precio de venta unitario, no son suficientes para cubrir los gastos fijos y las utilidades, lo que implica que los ingresos no alcanzan el umbral necesario para cubrir las

obligaciones financieras. En este escenario, con un precio de venta de 0,50 dólares por unidad y un volumen de ventas de 3.000 helados, la empresa no genera ganancias, sino que incurre en pérdidas. Este comportamiento se refleja claramente en la tabla de análisis de flujo de efectivo En el análisis del escenario probable, que se ajusta más a la realidad del emprendimiento, se observa que, con la inversión inicial y el préstamo bancario a una tasa de interés del 15 %, el emprendimiento logra, aunque de manera ajustada, cubrir la primera anualidad. En términos específicos, según el estado de flujo de efectivo del emprendimiento, los ingresos del primer año ascienden a $11,321.35, lo que permite cubrir el pago de la anualidad correspondiente al préstamo bancario, que es de $11,037.68. De esta manera, el emprendimiento no solo logra pagar la primera anualidad del préstamo, sino que también obtiene una rentabilidad positiva. La Tasa Interna de Retorno (TIR) en este escenario es del 685 %, superando ampliamente la TREMA calculada del 16 lo que indica que el proyecto es financieramente viable y rentable. En el escenario optimista, se incrementa el valor de venta unitario del helado, pasando de $1.10 a $1.20 , lo que, en el análisis de estados de flujo de efectivo , permite al emprendimiento generar ganancias desde el primer año. Con este ajuste en el precio, en el primer año, el emprendimiento obtiene $17,010.37 en ganancias, lo que es suficiente para cubrir el pago de la anualidad del préstamo, que asciende a $11,037.68. Tras deducir esta anualidad, el emprendimiento aún mantiene una ganancia positiva. En comparación con el escenario probable, donde el valor de venta inicial era de $1.10, el incremento del precio en el escenario optimista permite una ganancia superior, alcanzando una Tasa Interna de Retorno (TIR) del 1,007 %, un valor considerablemente superior a la TREMA calculada del 16 %

7. Resultados

7.1. Análisis del resultado sobre el levantamiento de información del estado actual del área de dosificado de la mezcla de helado en la línea de producción

El análisis del proceso de dosificación manual en Bigotes de Leche demuestra las ineficiencias operativas que afectan la productividad y los tiempos de producción. Evidenciando que la velocidad a la que se debe completar un producto para satisfacer la demanda del cliente (Takt Time) no es la adecuada ya que esta equivale a 1.6 minutos por unidad, lo que representa tiempos de producción muy amplios. Por otro lado, el tiempo de presentación (Pitch Time) es el tiempo que tarda en culminar un lote de producción, lo que equivale a 64 minu-

tos por bandeja, reflejado una capacidad limitada de respuesta ante incrementos en la demanda.

Asimismo, la tasa de defectos corresponde al 0,7%, en otras palabras, dicho porcentaje representa la cantidad de producto dosificado que no ha salido a la venta. Por otro lado, también se considera el desperdicio de materia prima con un porcentaje del 0.2%. Con los valores del Takt Time, el Pitch Time y la tasa de defectos se determina que la futura implementación del sistema mecatrónico puede mejorar los desperdicio causados por la dosificación manual.

7.2. Resultado del prototipo mecánico para el sistema de dosificado de helado

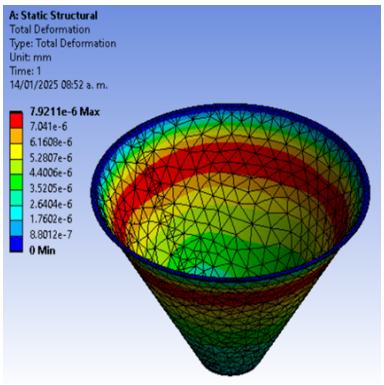
Para llegar a un resultado final se analizaron varias partes que conforman el diseño mecánico del sistema mecatrónico para controlar el flujo de dosificación de helado.

Análisis de los resultados de la tolva en un software CAD

En el software de diseño asistido por ordenado se analizó los distintos factores donde la mezcla de helado que actúan en la superficie de la tolva, como la presión hidrostática anteriormente calculada que nos da un valor de 113.14 Pa. Ademas, para el análisis se debe tomar en cuenta el factor de seguridad que debe estar en un rango de 1.5 a 2, ya que son valores para diseños bajo cargas estáticas y con materiales fiables cuando las condiciones de carga y ambientales no son severas.
Una vez obtenido los valores necesarios para el análisis que determino la deformación y estrés de la tolva dentro el software ANSYS, estos resultados se pueden observar en las Figuras 62 y 63. Una vez obtenido los resultados se compara los resultados con los cálculos y en la Tabla 63 se puede observar que los valores de los cálculos se asemejan a los resultados obtenidos en la simulación.

Figura 62

Deformación unitaria

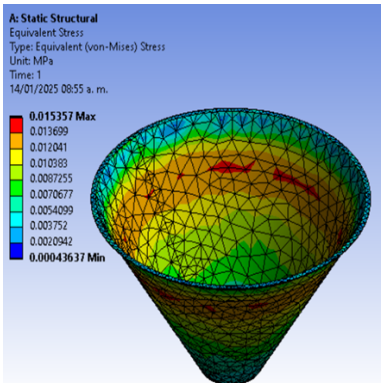


Nota. Deformación unitaria de la tolva.

En la Figura 62, tenemos una deformación donde se aplicó la fuerza de servicio, de la cual se obtuvo una deformación máxima de $7.9211x10^{(-6)}$ mm.

Figura 63

Estrés equivalente



Nota. Estrés equivalente de la tolva.

Tabla 63

Resultados obtenidos

RESULTADOS OBTENIDOS			
	Cálculo Teórico	Simulación en programa CAD	Cálculo de la soldadura
Deformación Total	$8.0706x10^{-6}$	$7.9211x10^{-6}$	$4.5826X10^{-6}$
Estrés equivalente	0.01687	0.01536	9.191410^{-3}

Nota. Resultados obtenidos después de las simulaciones y los cálculos.

Además, tras el análisis de la soldadura de la tolva y con las respectivas normativas para sueldas en elementos de acero inoxidable se pudo observar que los resultados del esfuerzo de tensión y cortante están por debajo de límite permisible por lo que se cumplen las dos condiciones de soldadura en un material de 0,7 mm.

Análisis estructural de la banda en un software CAD

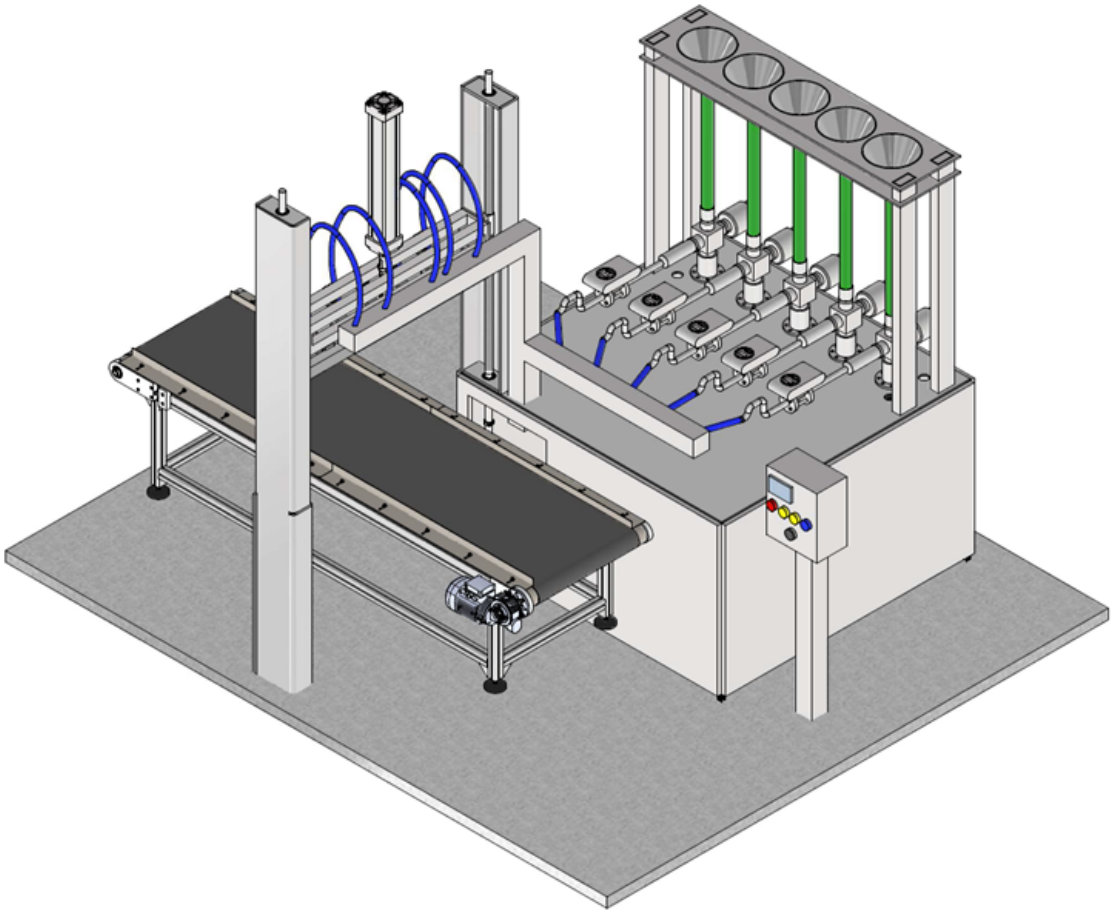
Tanto la dosificación como el transporte de las bandejas con los envases se realiza de forma manual, lo que genera tiempos de operación muy prolongados. Con la propuesta de la banda transportadora automatizada se previene reducir significativamente los tiempos de proceso disminuyendo la intervención manual del usuario y mejorando la eficiencia del proceso.

Sistema mecatrónico para controlar el flujo de dosificación de helado

Se tiene como resultado final el diseño mecánico del sistema mecatrónico, donde el ciclo de dosificación comienza con la carga de la mezcla de helado en las respectivas tolvas, prosigue con el funcionamiento del pistón que nos ayuda a generar la disminución de la presión en la camisa del cilindro lo que permite la succión de la mezcla desde la tolva. Después de que sucede el proceso de succión la válvula tres vías se activa, lo que provoca cerrar el paso de la tolva a la camisa del cilindro y da comienzo al proceso de inyección. Dentro del proceso de inyección pasa por el caudalímetro que nos permite tener un mejor registro de datos dentro del proceso de control. Por último, la mezcla de helado es inyectado por medio de las boquillas dosificadoras

Figura 64

Diseño mecánico para el sistema de dosificado de helado



Nota. Diseño mecánico para el sistema de dosificado de helado.

7.3. Resultado de la automatización del sistema de dosificado de helado

Uno de los principales beneficios esperados con la implementación de este sistema es la reducción del tiempo de dosificación. En el proceso manual actual, la dosificación de cada envase toma aproximadamente entre tres y cuatro minutos, lo que representa una operación prolongada y dependiente del esfuerzo humano. Con esta propuesta, se proyecta reducir el tiempo total de dosificación de 40 envases a solo dos minutos, lo que optimizaría la producción y mejoraría la eficiencia del proceso. Sin embargo, estos tiempos deberán ser validados una vez que el sistema sea implementado y sometido a pruebas en condiciones reales.

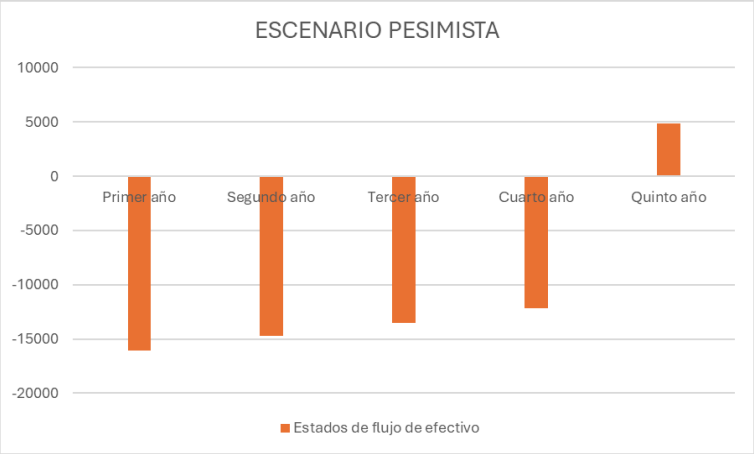
PROCESO	Tiempo por envase	Tiempo total (40 envases)
Dosificación manual	1 a 2 minutos	64 a 120 minutos
Dosificación automatizada (prevista)	0.05 minutos (3 segundos)	2 minutos (pendiente de validación)

7.4. Resultado del análisis de costo del sistema mecatrónico de dosificado de helado

El análisis económico de la propuesta de control de automatización se realizó considerando tres escenarios: pesimista, más probable y optimista. Con base en estos escenarios, se evaluó la viabilidad financiera del emprendimiento Bigotes de Leche a partir de un préstamo de $37,000, con una tasa de interés anual del 15 % durante 5 años.

Figura 65

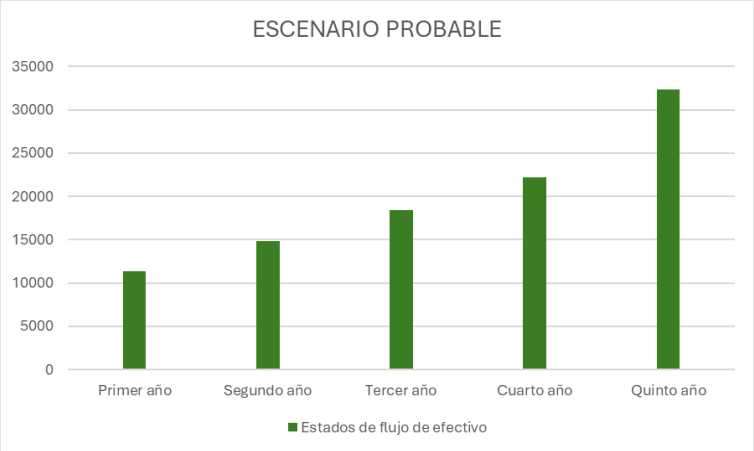
Escenario pesimista



Nota: *Escenario pesimista en gráfico de barras.*

Figura 66

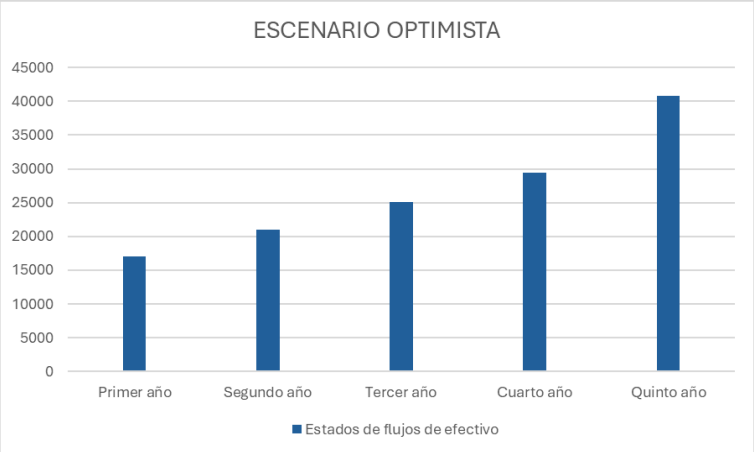
Escenario probable



Nota: *Escenario probable en gráfico de barras.*

Figura 67

Escenario optimista



Nota: *Escenario optimista en gráfico de barra.*

Los flujos de efectivo proyectados indican que, bajo el escenario más probable, el emprendimiento logra generar un saldo positivo de $11,321.35 al final del primer año, permitiendo el pago de la primera anualidad sin comprometer su estabilidad financiera. A partir de este punto, el negocio comienza a obtener ganancias netas. La evaluación de los tres escenarios permitió calcular el Valor Presente Neto (VPN), obteniendo una VPN de

53, 194.60*enelescenariopesimista*,63,185.34 en el más probable y $140,518.11 en el optimista. Se calculó el promedio de estos valores junto con su desviación estándar, lo que proporciona una medida de dispersión que refleja el grado de incertidumbre en la rentabilidad del proyecto. Cuanto mayor sea la desviación estándar, mayor es el riesgo asociado a las proyecciones financieras, indicando variabilidad en los posibles retornos de inversión.

Tabla 64

Comparación entre escenarios

		Pesimista	Mas Probable	Optimista
VPN		53.194,60	63.185,34	140.518,11
Promedio	$	85.632,68		
Desviación estándar	$	47.793,95		

Nota: *Comparación entre escenarios.*

8. Cronograma

Tabla 65

Cronograma de actividades.

CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES																
OBJETIVOS ESPECÍFICOS	**ACTIVIDADES**	**MES 1**				**MES 2**				**MES 3**				HORAS
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	
Levantar información del estado actual del área de dosificado de la mezcla de helado en la línea de producción en el emprendimiento Bigotes de leche.	Revisión de literatura sobre sistemas de dosificación de helados.	x	x	x	x									15
	Recopilación de información sobre el estado actual del área de dosificación en Bigotes de Leche.		x	x	x									10
	Entrevistas con el personal de producción.	x	x	x	x									15
	Identificación de tecnologías relevantes en el área.	x	x	x	x	x	x	x	x	x				25
Diseñar un prototipo mecánico para el sistema de dosificado de helado en el emprendimiento Bigotes de leche.	Formulación de un diseño conceptual para el sistema mecatrónico de dosificación.			x	x	x	x	x	x					25
	Identificación de los componentes mecánicos y electrónicos necesarios.						x	x	x	x	x	x		15
	Definición de criterios de diseño.						x	x	x	x	x	x		15
	Esbozo inicial del prototipo.										x	x	x	10
Desarrollar una estrategia de control para el sistema de dosificado de helado en el emprendimiento Bigotes de leche.	Diseño conceptual del sistema.											x	x	10
	Desarrollo del diseño electrónico necesario para el sistema de dosificación.							x	x	x	x	x	x	10
	Formulación de la estrategia de control para el sistema.						x	x	x	x				15
	Creación de un modelo o prototipo virtual del diseño propuesto utilizando software de diseño asistido por computadora (CAD).						x	x	x	x	x	x		25
Realizar un análisis de costo del sistema mecatrónico de dosificado de helado en el emprendimiento Bigotes de lechen.	Recopilación de costos de materiales y equipos.											x	x	10
	Estimación de costos de instalación y mantenimiento.											x	x	10
	Análisis de costos versus beneficios.											x	x	10
	Elaboración de un informe final que incluya el análisis detallado de los costos de implementación y operación.											x	x	10
	Redacción de documento	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	10
Total de horas empleadas	240													

Nota: La tabla presenta las actividades para cumplir con los objetivos planteados.

9. Presupuesto

Esta sección esta dividida en:

9.1. Talento humano

La tabla 68 presenta los costos establecidos por cada uno de los participantes del proyecto.

Tabla 66

Recurso de talento humano.

Cargo	Nombre	Costo hora	horas al mes	Total de horas	Costo total
Tutor	Mstr. Diego Urgiles	18$	8	48	864 $
Autor 1	Camila Ortega	8$	–	240	3200 $
Autor 2	Sara Solorzano	8$	–	240	3200 $

Nota: En la tabla se observa el costo de las 240 horas establecidas en el cronograma de trabajo y el costo de las horas de revisión por parte del docente revisor.

9.2. Proceso de fabricación

La tabla 67 presenta los costos de fabricación de los lotes de helados correspondientes a las pruebas a realizar.

Tabla 67

Costos por lote del proceso de fabricación - Sabor Galleta Oreo.

Producto	Costo
Crema de leche	$1.50
Leche	$0.30
Azúcar	$0.19
Mezcla de galleta Oreo	$1.10
Decoración	$0.60
Recipiente	$0.36
Palitos de helado	$0.23
Servicios básicos	$0.50
Mano de obra	$1.70
TOTAL	**$6.48**

Nota: En la tabla se observa los costos referenciales de cada uno de los productos empleados en el proceso de fabricación de un lote de helados sabor galleta oreo.

9.3. Recursos materiales

Tabla 68

Recurso de talento humano.

Denominación	Cantidad	Costo de Alquiler	Costo total
Software	2	850	1700 $
Laboratorios	3	200	600 $

Nota: La tabla hace referencia a los costos aproximados al uso del software Autodesk, Factory Design y FlexSim. Del mismo modo el costo por el uso de los laboratorios se considera como un aproximado de acuerdo al número de horas proyectadas. Su valor de mercado, subraya el beneficio económico y académico brindado por la institución, optimizando procesos y garantizando la calidad y precisión de los resultados obtenidos.

El presupuesto presentado detalla los costos asociados a distintos aspectos de la investigación propuesta en la tesis. En primer lugar, se incluyen los costos relacionados con el talento humano, como el tutor y los autores. Estos costos reflejan el valor del tiempo invertido en el proyecto. Además, se detallan los costos de fabricación de los lotes de helados, que son utilizados como ejemplo para respaldar la investigación. Estos costos, que incluyen ingredientes y materiales, son útiles para contextualizar la viabilidad económica de un posible emprendimiento. Por último, se mencionan los costos asociados al uso de recursos materiales, como software y laboratorios. Estos recursos son fundamentales para respaldar la investigación teórica y el desarrollo del sistema mecatrónico propuesto en la tesis. Sumando todos estos gastos, el costo total de realización del proyecto se estima en **$9564**.

10. Conclusiones

El estudio realizado demuestra la necesidad de optimizar el proceso de dosificación de helado en Bigotes de Leche mediante la implementación de un sistema mecatrónico. La automatización permitirá mejorar la precisión en el dosificado, reducir tiempos improductivos y minimizar la tasa de defectos, asegurando una mayor eficiencia y estandarización del producto final. La integración de un PLC y una interfaz HMI garantizará un control preciso del flujo de mezcla, disminuyendo el desperdicio de insumos y fortaleciendo la seguridad alimentaria. Con esta solución tecnológica, Bigotes de Leche podrá incrementar su capacidad de producción, adaptarse a la variabilidad del mercado y consolidarse como un emprendimiento.

El diseño mecánico brinda la mejora de los tiempos de producción implementando componentes mecánicos y electrónicos que cumplen con los requisitos impuestos por el emprendimiento Bigotes de Leche y los requerimientos de mejora en tiempos de dosificación. Ademas, con el complemento de una sistema de control que puede cumplir con la demanda del mercado actual y a largo plazo.

La presente propuesta de control para la dosificación de helado tiene como finalidad mejorar la eficiencia y precisión del proceso mediante la implementación de un PLC, un HMI y un variador de frecuencia. Actualmente, el sistema no ha sido implementado, pero se ha realizado un análisis preliminar del control, en el cual se definieron los parámetros clave de operación y se realizaron a cabo pruebas de laboratorio con PLCS de las marcas Siemens y Mitsubishi para determinar cuál ofrece un mejor desempeño para este proce-

so. El diseño del sistema considera la programación del PLC para gestionar las señales de entrada y salida, permitiendo un control preciso del dosificado. Asimismo, se prevé la configuración de un HMI que facilitará la operación y supervisión por parte del usuario. El variador de frecuencia será utilizado para ajustar la velocidad de la banda transportadora y garantizar un transporte estable de los envases de helado, minimizando el riesgo de derrames.

Los resultados del análisis económico demuestran que la implementación de la propuesta de automatización es financieramente viable, incluso bajo condiciones menos favorables. El análisis de los tres escenarios permitió establecer una expectativa razonable de rentabilidad, siendo el escenario más probable el que mejor refleja la realidad del negocio. La capacidad del emprendimiento para cubrir su primera anualidad en el primer año y generar utilidades a partir de entonces confirma la sostenibilidad del proyecto. Además, el cálculo del promedio y la desviación estándar del VPN proporciona una visión más objetiva del comportamiento financiero del sistema, permitiendo cuantificar el riesgo asociado a la inversión. En términos generales, la automatización del proceso de dosificación representa una mejora significativa en la eficiencia operativa y en la rentabilidad del negocio, justificando la inversión inicial y asegurando un retorno positivo a mediano y largo plazo.

11. Recomendaciones

- La estructura mecánica puede ser utilizada para otro tipo de productos que sean de baja y mediana viscosidad, para ello se recomienda que sí se desea dosificar otros productos, verifique si sus propiedades son adecuadas para los componentes utilizados en el diseño del sistema mecatrónico.
- En la parte de control las recomendaciones a tomar en cuenta son que al momento de realizar las configuraciones se debe establecer de manera correcta las variables tanto para la simulación como para las pruebas de laboratorio ya que al realizar este cambio puede haber ciertas confusiones debido a la cantidad de variables a controlar, otra cosa a considerar es que los elementos que se van a aplicar en la propuesta de control como el PLC, el HMI y el variador deben estar en la misma red para que halla comunicación.
- En la parte del análisis económico que se desarrollo se recomienda considerar que el porcentaje del riesgo país varia según la situación económica, por tanto el valor de la tasa de renta mínima aceptable (TREMA) varia.

Referencias

Alfonsin, G. (2010). *Notas técnicas.* Descargado de http://www.heladoartesanal.com/historia_helado_artesanal.html

Chover, C. N. (2016). *Diseño de un reductor de velocidad para una cinta transportadora de carbon.* Descargado de https://ingemecanica.com/proyectos/objetos/proyecto48/doc1pro48.pdf

Festo. (2023, octubre). Cilindro normalizado dnc, iso 15552 [Manual de software informático]. (https://www.festo.com/media/catalog/205628_documentation.pdf)

García, F. (2023). *Automatización y control en la industria alimentaria. editorial técnica.*

Gómez, L. (2014). *Estudio de un sistema de dosificación para sólidos aplicable en la elaboración de tabletas de chocolate y su incidencia en la producción de la empresa chocolates doña olguita en la parroquia de huachi chico.*

INEN. (1983). *Normativa ministerio de industrias y productividad.* Descargado de https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/reglamentos/RTE-070.pdf

Krohne. (2019). *Manual optiflux 1000.* Descargado de https://cdn.krohne.com/pick2/tagged_docs/MA_OPTIFLUX1000_es_191028_R05_4002444904___1000630548_1__.pdf?_gl=1*ryuu7v*_gcl_au*MTg5ODc4ODUwMy4xNzM2MjkwODk3

Martínez, A. (2023). *Optimización de procesos en la industria alimentaria. editorial técnica.*

Oramas Castro, D. A. (2024). *ElaboraciÓn de una guÍa documental de un sistema de gestiÓn de seguridad alimentaria basado en la norma iso 22000:2018 para una embotelladora de bebidas y productora de snacks en el ecuador [tesis de grado, universidad politÉcnica salesiana].*

Ortega, A. (2024). *Entrevista bigotes de leche.* Entrevista telefónica. (11/01/2024)

Pérez, J. (2022). *Diseño de sistemas mecatrónicos para la industria. editorial innovación.*

RAE, R. a. e. (2024). *Diccionario de lengua española 22nd ed.* Descargado de http://buscon.rae.es/drae/srv/search?val=tolva

Rivero, R. (2024). *Sensores.* Descargado de http://rivero-martin.blogspot.com/2012_04_01_archive.html

Simbaña Arévalo, K. A. (2015). *Diseño y construcción de máquina dosificadora de helados de crema para la industria artesanal.* Descargado de http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/5639

SKF. (2016). *Skf power transmission products.* Descargado de https://www.skf.com/binaries/pub12/Images/0901d1968040841a-Power-Transmission-catalogue-11015-EN_tcm_12-576542.pdf

Torres, J. (2012). *Introducción a la mecatrónica.* Descargado de http://1607051.blogspot.com/2012/11/26-controladoreslogicos-programables.html

White, F. (2008). *Mecánica de fluidos, sexta edición.* Descargado de https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=3D1LDwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PR1&dq=mmecanic+de+fluidos+frank+white&ots=GcbWJBnSXs&sig=bj0OPl8pu17JIQbgmPu4qP-Qrxc#v=onepage&q&f=false

y N.Delgado, L. (2014). *Determinación de la fuerza mázima aceptable para empujar y halar cargas por parte de trabajadores con experiencia previa en la manipulación de cargas, en una muestra del pernosal de la pontificia universidad javeriana.* Descargado de https://repository.javeriana.edu.co/bitstream/handle/10554/7133/tesis158.pdf?sequence=3

CNKosun. (s.f.). Stainless steel hopper product. https://www.cnkosun.com/stainless-steel-hopper-product/

Mintn. (s.f.). 301 3-Way Tri-clamp Angle Seat Valve. https://mintn.com/es/products/301-3-Way-Tri-clamp-Angle-Seat-Valve-158159.html

Krohne. (2019). Manual OPTIFLUX 1000 (R05). https://cdn.krohne.com/pick2/tagged_docs/MA_OPTIFLUX1000_es_191028_R05_4002444904___1000630548_1__.pdf

Festo. (s.f.). Documentación técnica. https://www.festo.com/media/catalog/205628_documentation.pdf

Festo. (s.f.). Documentación técnica. https://www.festo.com/media/catalog/202856_documentation.pdf

Norelem. (s.f.). Perfiles de aluminio 45x45 ligeros, Tipo B. https://www.norelemusa.com/medias/10157-Datasheet-33838-Perfiles-de-aluminio-45x45-ligeros-Tipo-B-es.pdf

Importaceros. (2021). Plancha de aluminio liso. https://www.importaceros.com/wp-content/uploads/2021/01/importaceros-plancha-aluminio-liso.pdf

Ainiv. (2020). Tratamiento de aire tipo Festo. http://www.ainiv.com.ec/wp-content/uploads/2020/06/Itair-tratamiento-de-Aire-tipo-Festo.pdf

Drifton. (s.f.). Manual de producto. https://drifton.es/framework/pdf/product/2207

3M. (s.f.). 3M Clean Sanding System Precision Random Orbital Sander Manual. https://multimedia.3m.com/mws/media/25150910/3m-clean-sanding-system-precision-random-orbital-sander-manual.pdf

Emerson. (s.f.). Manual técnico. https://emersoncatalog.z1.web.core.windows.net/pdf/290631_spa_ESP.PDF

Camozzi. (s.f.). Catálogo técnico. https://media.camozzi.com/pdf/EN-ENG.pdf

Hydac. (s.f.). Documento técnico. https://www.hydac.com/shop/media/catalog/crossbase/PRD_DOC_PRO/PRD_DOC_PRO_3201-00001__SEN__AIN__V32.pdf

Nordair. (s.f.). Ficha de producto. https://comercio.nordair.es/fichaproducto/?no_=VM1%2F4

Unior Tools. (s.f.). Ficha técnica. https://uniortools.com/pdf-product?id=997780&lang=es

Sutaiyo. (s.f.). Sprockets. https://www.sutaiyo.com/files/files/6048bacb886bc/4.Sprockets.pdf

SKF. (s.f.). PHC 08B-1X10FT. https://www.skf.com/es/productinfo/productid-PHC%2008B-1X10FT

Jun-Air. (s.f.). Jun-Air Oil Lubricated Piston Air Compressor. https://www.desertcart.in/products/55638378-jun-air-1452000-jun-air-jun-air-oil-lubricated-piston-air-compressor-2-12-cfm-120-psi-25-l-tank-120-v

Rossi. (s.f.). Catálogo técnico, Serie A. https://www.rossi.com/-/media/Feature/Download-Files/Technical-Catalogs/A/A-series-catalog-ES.pdf

Siemens. (s.f.). Sinamics V20 Converters. https://www.plc-city.com/shop/es/siemens

-sinamics-v20-converters/6sl3210-5bb13-7uv1-nfs.html

ANEXOS

Anexo 1: Datos Tecnicos - OPTIFLUX 1300

6.3 Precisión de medida

Todo caudalímetro electromagnético se calibra por comparación directa del volumen. La calibración en húmedo valida el rendimiento del caudalímetro en las condiciones de referencia respecto a los límites de precisión.

Por lo general, los límites de precisión de los caudalímetros electromagnéticos son el resultado del efecto combinado de linealidad, estabilidad del punto cero e incertidumbre de calibración.

Condiciones de referencia

- Producto: agua
- Temperatura: +5...+35°C / +41...+95°F
- Presión de operación: 0,1...5 barg / 1,5...72,5 psig
- Sección de entrada: ≥ 5 DN
- Sección de salida: ≥ 2 DN

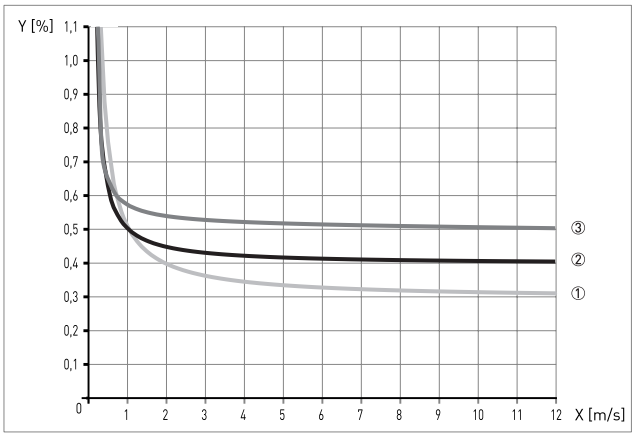


Figura 6-2: Velocidad de caudal frente a precisión

X [m/s]: velocidad de caudal
Y [%]: desviación del valor real medido (vm)

Precisión

Diámetro del sensor de caudal	Tipo de convertidor de señal	Precisión	Curva
DN10...150 (3/8...6")	IFC 050	0,5% of mv + 1 mm/s	③
DN10...150 (3/8...6")	IFC 100	0,4% del vm + 1 mm/s	②
DN10...150 (3/8...6")	IFC 300	0,3% del vm + 2 mm/s	①

Anexo 2: Normativas - OPTIFLUX 1300

EN 1092-1

Tamaño nominal DN [mm]	Contrabridas		Presión de operación máx. [bar]	Pernos	Par de apriete máx. [Nm] ②
	Tamaño de brida DN [mm]	Clase de la brida [lb]			
10	15 ①	PN 16/40	≤16	4 x M12	16
15	15	PN 16/40	≤16	4 x M12	16
25	25	PN 16/40	≤16	4 x M12	16
40	40	PN 16/40	≤16	4 x M16	25
50	50	PN 16/40	≤16	4 x M16	45
80	80	PN 16/40	≤16	4 x M16	25
100	100	PN 16	≤16	8 x M16	33
100	100	PN 40	≤16	8 x M20	33
150	150	PN 16	≤16	8 x M20	82
150	150	PN 40	≤16	8 x M24	82

① Para los tamaños DN10 y 15 utilice las contrabridas DN15 (tubo).
② Los valores de par especificados dependen de variables (temperatura, material de los pernos, material de las juntas, lubricantes, etc.) no controladas por el fabricante. Por lo tanto, los valores deben considerarse sólo indicativos.

ASME B16.5

Diámetro nominal DN [pulgada]	Contrabridas		Presión de operación máx. [psig]	Pernos	Par de apriete máx. [lbs.ft] ②
	Tamaño de brida [inch]	Clase de la brida [lb]			
3/8"	1/2" ①	150/300 lb	230	4 x 1/2"	11,6
1/2"	1/2"	150/300 lb	230	4 x 1/2"	11,6
1"	1"	150/300 lb	230	4 x 1/2"	10,8
1 1/2"	1 1/2"	150/300 lb	230	4 x 1/2"	18,1
2"	2"	150/300 lb	230	4 x 5/8"	32,5
3"	3"	150 lb	230	4 x 5/8"	40,5
3"	3"	300 lb	230	8 x 5/8"	20,5
4"	4"	150/300 lb	230	8 x 5/8"	26
6"	6"	150 lb	230	8 x 3/4"	72,3
6"	6"	300 lb	230	12 x 3/4"	47,7

① Para los tamaños DN3/8" y 1/2" utilice las contrabridas DN1/2" (tubo).
② Los valores de par especificados dependen de variables (temperatura, material de los pernos, material de las juntas, lubricantes, etc.) no controladas por el fabricante. Por lo tanto, los valores deben considerarse sólo indicativos.

¡PRECAUCIÓN!

- *Las presiones son aplicables a 20° C / 68° F.*
- *Para temperaturas más elevadas, las clasificaciones de presión y temperatura son conformes a ASME B16.5.*

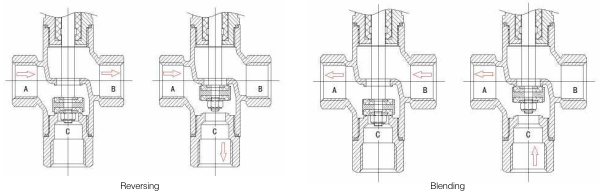
Three Way Angle Seat Valve

Function Principle

The valve has three ports that enable "reversing" and "blending" features. When the valve is in idle state, C port is closed due to force spring. When the actuator piston is compressed, C port is opened and B port is closed. When double acting, the valve opens and closes by compressed air.

Technical Specification

Fluid pressure: Max1.6MPa
Control pressure: 0.3–0.8MPa
Control medium: Neutral gas or air
Body material: CF8M
Actuator material: CF8
Seal material: PTFE
Medium temperature: –10℃ — +180 ℃
Ambient temperature: –10℃ — +80℃
Control type: Normally closed, Double acting with spring, Double acting with compressed air.
Connection: Thread, Tri–clamp
Applicable medium: Water, steam, oil, neutral gas or liquid, organic solvent, acid base solution, etc



Reversing Blending

ESG®

Three Way Angle Seat Valve

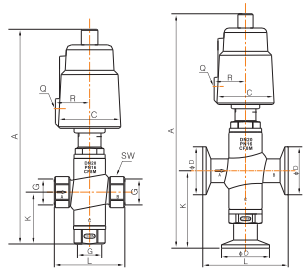
Dimension

Thread type

Size	Actuator	Q	C	R	G	A	K	L	SW	Weight (kg)
DN15	40	G1/8	50.5	27	1/2"	195	50	68	27	0.91
DN20	50	G1/8	60	33	3/4"	230	60	75	32	1.25
DN25	50	G1/8	60	33	1"	242	68	90	40	1.64
DN32	90	G1/8	106	55	1 1/4"	355	86	116	50	4.62
DN40	90	G1/8	106	55	1 1/2"	360	90	116	56	5.15
DN50	90	G1/8	106	55	2"	382	102	138	69	6.52

Tri-clamp type

Size	Actuator	Q	C	R	D	A	K	L	Weight (kg)
DN15	40	G1/8	50.5	27	34	223	80	90	0.99
DN20	50	G1/8	60	33	50.5	246	80	90	1.48
DN25	50	G1/8	60	33	50.5	262	90	100	1.78
DN32	90	G1/8	106	55	50.5	373	104	130	4.75
DN40	90	G1/8	106	55	64	381	111	150	5.45
DN50	90	G1/8	106	55	64	408	128	160	6.65



Thread type

Tri–clamp type

Pressure Data

Type 1 : Single acting , with Normal Spring

Size	Actuator	Interface	Inner hole	Flow rate KV (m³/h)		Differential pressure range △P(MPa)A→B/A→C	Differential pressure range △P(MPa)C→A	Control pressure (MPa)
				A→B	A→C			
DN15	40	1/2"	14	4.1	4.9	0–1.6	1.2	0.4–0.6
DN20	50	3/4"	18	5.8	6.5	0–1.6	0.8	0.3–0.5
DN25	50	1"	24	13.9	14.4	0–1.4	0.4	0.3–0.65
DN32	90	1 1/4"	31	20.9	22.8	0–1.6	0.2	0.3–0.45
DN40	90	1 1/2"	35	24.4	26.6	0–1.6	0.1	0.3–0.5
DN50	90	2"	45	29.3	31.9	0–1.6	0.1	0.3–0.6

Type 2 : Single acting , with Strong Spring

Size	Actuator	Interface	Inner hole	Flow rate KV (m³/h)		Differential pressure range △P(MPa)A→B/A→C	Differential pressure range △P(MPa)C→A	Control pressure (MPa)
				A→B	A→C			
DN15	40	1/2"	14	4.1	4.9	0–1.6	1.2	0.4–0.6
DN20	50	3/4"	18	5.8	6.5	0–1.6	1.4	0.45–0.65
DN25	50	1"	24	13.9	14.4	0–1.1	0.6	0.45–0.65
DN32	90–A	1 1/4"	31	20.9	22.8	0–0.55	1.6	0.6–0.7
	90–B					0–1.4	1.2	0.45–0.7
DN40	90–A	1 1/2"	35	24.4	26.6	0–0.45	1.6	0.6–0.7
	90–B					0–1.2	1.0	0.45–0.7
DN50	90–A	2"	45	29.3	31.9	0–0.25	0.9	0.6–0.7
	90–B					0–0.9	0.5	0.45–0.7

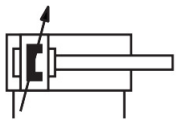
Type 3 : Double acting , with Normal Spring

Size	Actuator	Interface	Inner hole	Flow rate KV (m³/h)		Differential pressure range △P(MPa)A→B/A→C	Differential pressure range △P(MPa)C→A	Control pressure (MPa)
				A→B	A→C			
DN15	40	1/2"	14	4.1	4.9	0–1.6	1.6	0.4–0.6
DN20	50	3/4"	18	5.8	6.5	0–1.6	1.6	0.3–0.5
DN25	50	1"	24	13.9	14.4	0–1.4	1.4	0.3–0.65
DN32	90	1 1/4"	31	20.9	22.8	0–1.6	1.6	0.3–0.55
DN40	90	1 1/2"	35	24.4	26.6	0–1.6	1.6	0.3–0.6
DN50	90	2"	45	29.3	31.9	0–1.6	1.6	0.3–0.65

Anexo 4: Cilindro Festo DNC 40-80

Cilindro normalizado
DNC-40-80-PPV-A
Número de artículo: 163340

FESTO



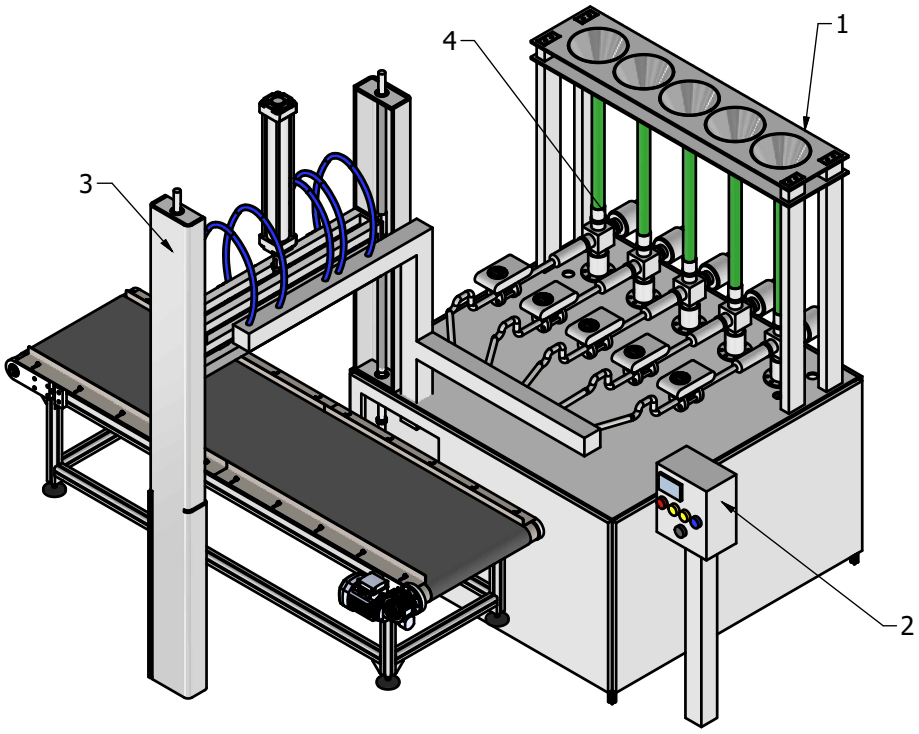
General operating condition

Hoja de datos

Característica	Valor
Carrera	80 mm
Diámetro del émbolo	40 mm
Rosca del vástago	M12x1,25
Amortiguación	Amortiguación neumática, regulable en ambos lados
Posición de montaje	Cualquiera
Conforme a la norma	ISO 15552
Extremo del vástago	Rosca exterior
Forma constructiva	Émbolo Vástago Camisa perfilada
Detección de posición	Para sensor de proximidad
Símbolo	00991235
Variantes	Vástago simple
Presión de funcionamiento	0.06 MPa ... 1.2 MPa
Presión de funcionamiento	0.6 bar ... 12 bar
Modo de funcionamiento	Doble efecto
Medio de funcionamiento	Aire comprimido según ISO 8573-1:2010 [7:4:4]
Nota sobre el medio de trabajo/mando	Admite funcionamiento con lubricación (lo cual requiere seguir utilizándolo)
Clase de resistencia a la corrosión CRC	2 - riesgo de corrosión moderado
Conformidad PWIS	VDMA24364-B1/B2-L
Temperatura ambiente	-20 °C ... 80 °C
Energía de impacto en las posiciones finales	0.2 J
Longitud de amortiguación	20 mm
Fuerza teórica con 6 bar, retorno	633 N
Fuerza teórica con 6 bar, avance	754 N
Masa móvil con carrera de 0 mm	307 g
Aumento masa móvil por 10 mm de carrera	16 g
Peso básico con carrera de 0 mm	800 g
Peso adicional por 10 mm de carrera	45 g
Tipo de fijación	Con rosca interior Con accesorios
Conexión neumática	G1/4
Nota sobre el material	Conformidad con la Directiva RoHS
Material de la tapa	Fundición inyectada de aluminio Recubierto

Anexo 5: Sistema mecatrónico de dosificación

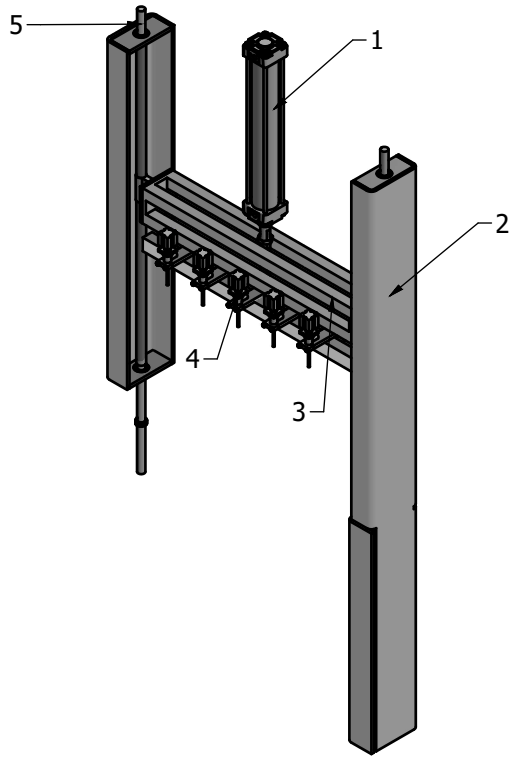
LISTA DE PIEZAS			
ELEMENTO	CTDAD	Nº DE PIEZA	DESCRIPCIÓN
1	5	Tolvas	Compoente que almacena la mezcla de helado
2	1	Pantalla HMI	Panel de control, encargado de comandar las partes del dosificador
3	1	Sistema de desplazamiento vertical de boquillas	Encargado del soporte y desplazamiento de las boquillas dosificadoras
4	5	Sistema de succión e inyección	Se encarga de la succión de la mezcla en la tolva y la inyección por las boquillas de dosificación



UPS	Est. Super. DIN 140			SISTEMA MECATRÓNICO DE DOSIFICACIÓN	EDICIÓN 1
	ESCALA 1:19	FECHA			
	Tol.gen. Tol.geom.	DIB.	25/01/2025	UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA	HOJA N° 1
	Tol.dimen. ISO2768-f	REV.	25/01/2025		
	ISO1101 ISO286-1	APRO.	25/01/2025		N° HOJAS 12
DIBUJADO POR:	CAMILA DETEGA LOPEZ Y SARA SOLORZANO NIEVA				
REVISADO POR:	ING. DIEGO URGILÉS CONTRERAS				

Anexo 6: Estructura del desplazamiento vertical

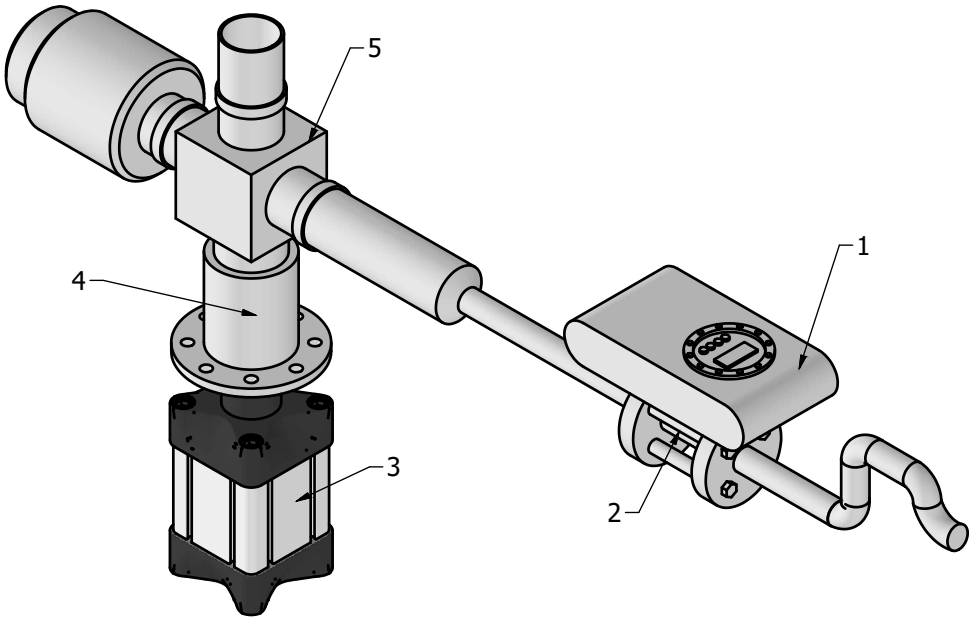
LISTA DE PIEZAS			
ELEMENTO	CTDAD	Nº DE PIEZA	DESCRIPCIÓN
1	1	Pistón Neumático	Encargado del movimiento vertical del soporte de las boquillas
2	2	Cuviertata del soporte de boquillas	Soporte que sostiene el sistema de desplazamiento vertical
3	1	Soporte - Boquillas Dosificadoras	Sujeta al pistón neumático y permite el movimiento de las 5 boquillas al mismo tiempo
4	5	Unión de la boquilla	Une la boquilla dosificadora al soporte de boquillas
5	2	Eje roscado	Permite ajustar la altura del sistema



UPS	Est. Super.		ESTRUCTURA DESPLAZAMIENTO VERTICAL	EDICIÓN 1	
	DIN 140				
	ESCALA 1:16	FECHA			
	Tol.gen.	DIB.	25/01/2025	UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA	HOJA N° 2
	Tol.geom.				
	Tol.dimen.	REV.	25/01/2025		
	ISO2768-f				
	ISO1101	APRO.	25/01/2025		N° HOJAS 12
	ISO286-1				
DIBUJADO POR:	CAMILA OETEGA LOPEZ Y SARA SOLORZANO NIEVA				
REVISADO POR:	ING. DIEGO URGILÉS CONTRERAS				

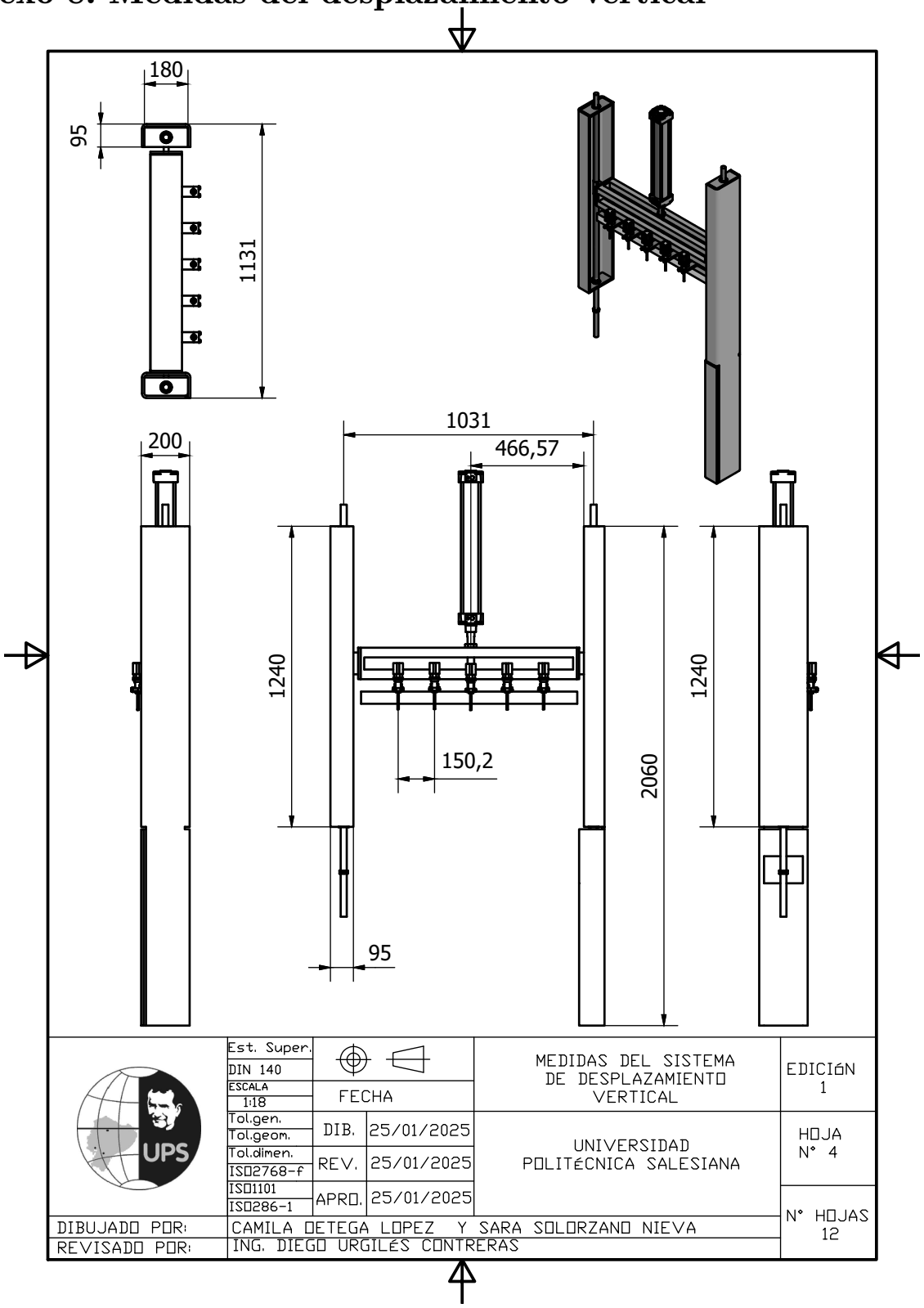
Anexo 7: Sistema de succión e inyección

LISTA DE PIEZAS			
ELEMENTO	CTDAD	Nº DE PIEZA	DESCRIPCIÓN
1	1	Convertidor de caudal IFC 050	Convierte la señal electromagnético a 4 hilos para el sistema de control
2	1	Caudalimetro OPTIFLUX 1300 de KROHNE	Permite medir el caudal de la mezcla de helado para un mejor control de la misma
3	1	Cilindro neumático Festo DNC 40-80	Permite realizar el sistema de succión dentro del proceso
4	1	Camisa del cilindro	Será el encargado de almacenar la mezcla para ser dosificada
5	1	Válvula Tres Vías	Permite paso a la acción de succión e inyección

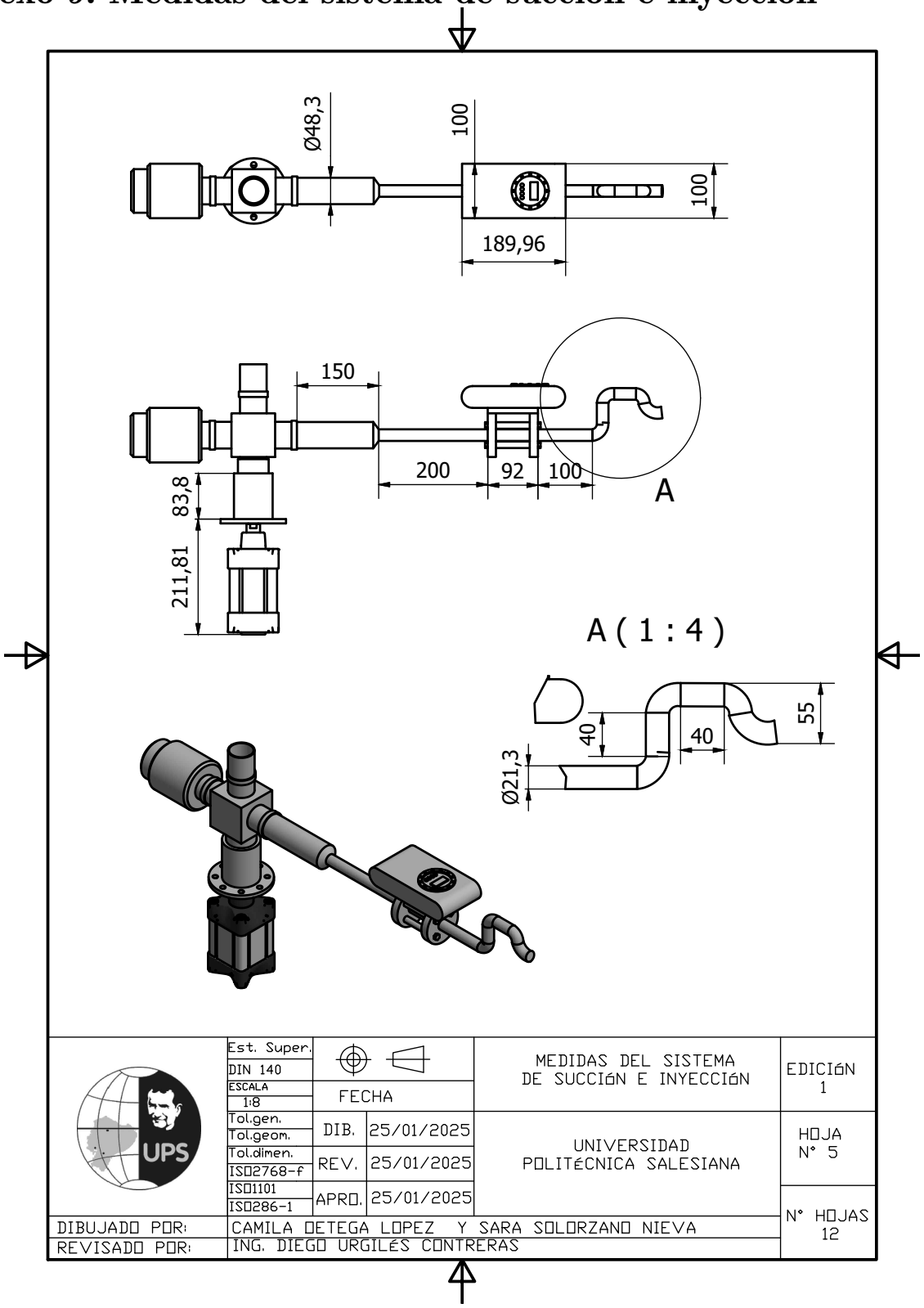


UPS	Est. Super. DIN 140			SISTEMA DE SUCCIóN E INYECCIóN	EDICIóN 1
	ESCALA 1:4	FECHA			
	Tol.gen. Tol.geom. Tol.dimen. ISO2768-f ISO1101 ISO286-1	DIB.	25/01/2025	UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA	HOJA N° 3
		REV.	25/01/2025		
		APRO.	25/01/2025		N° HOJAS 12
DIBUJADO POR:	CAMILA OETEGA LOPEZ Y SARA SOLORZANO NIEVA				
REVISADO POR:	ING. DIEGO URGILÉS CONTRERAS				

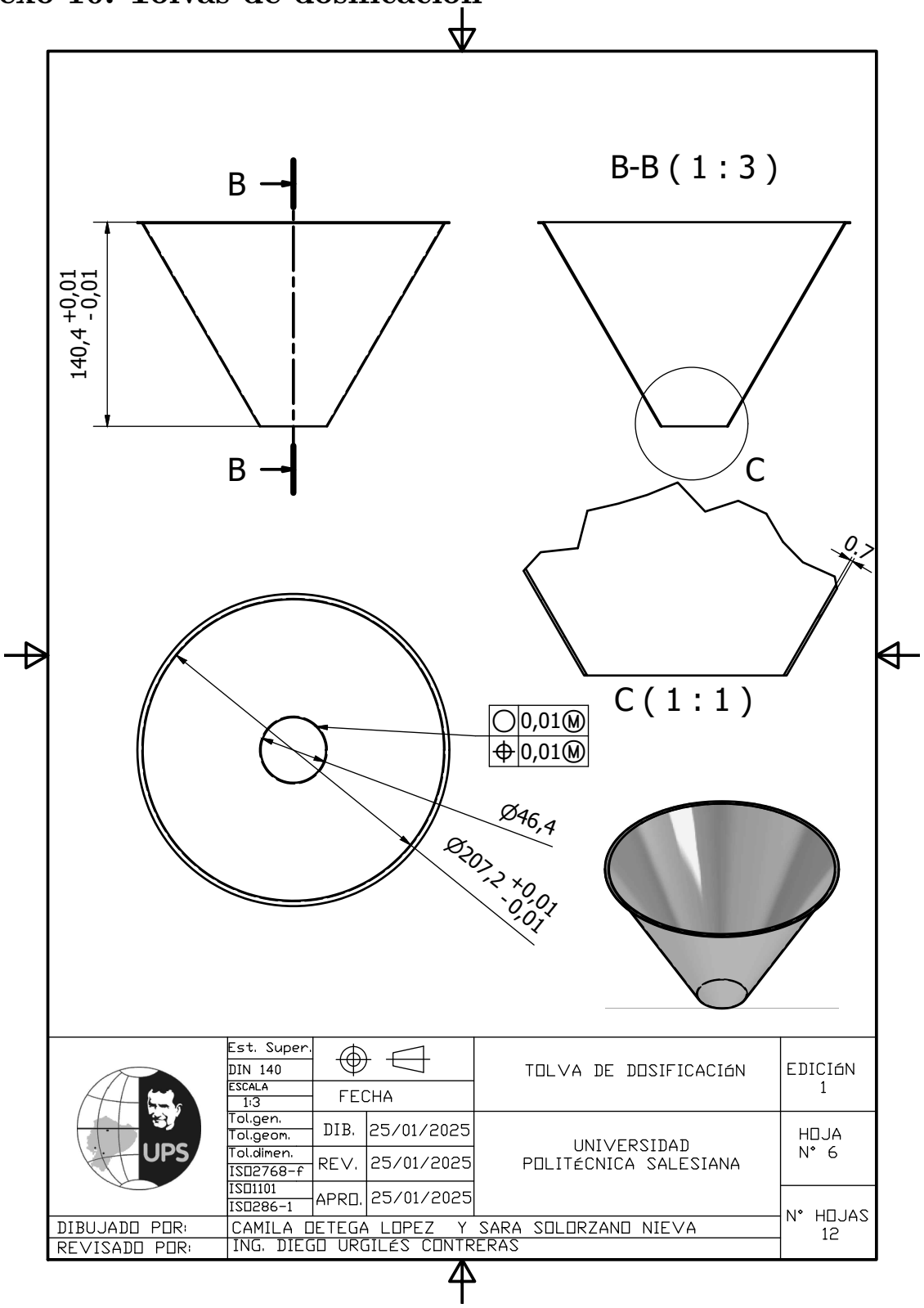
Anexo 8: Medidas del desplazamiento vertical



Anexo 9: Medidas del sistema de succión e inyección

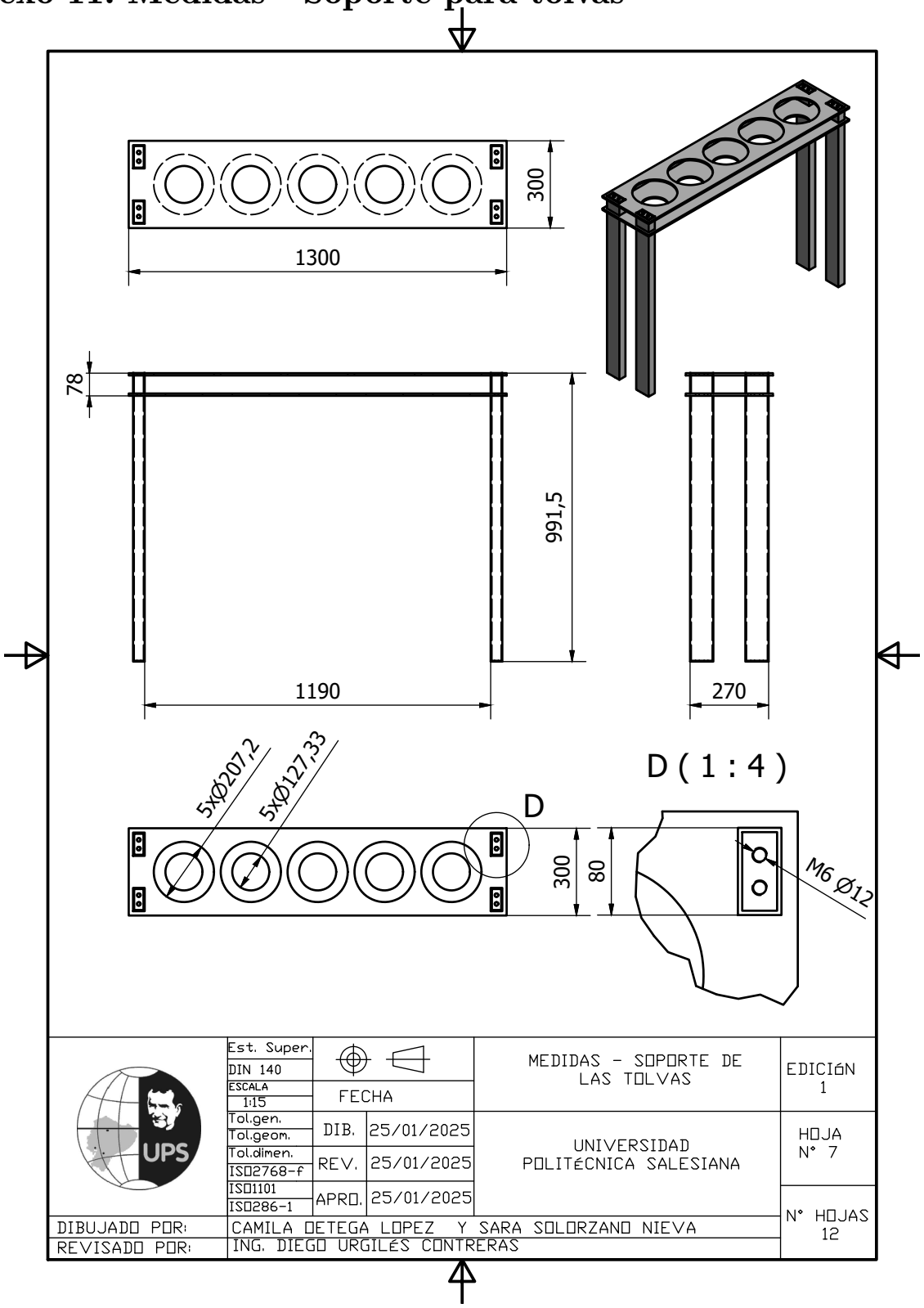


Anexo 10: Tolvas de dosificación

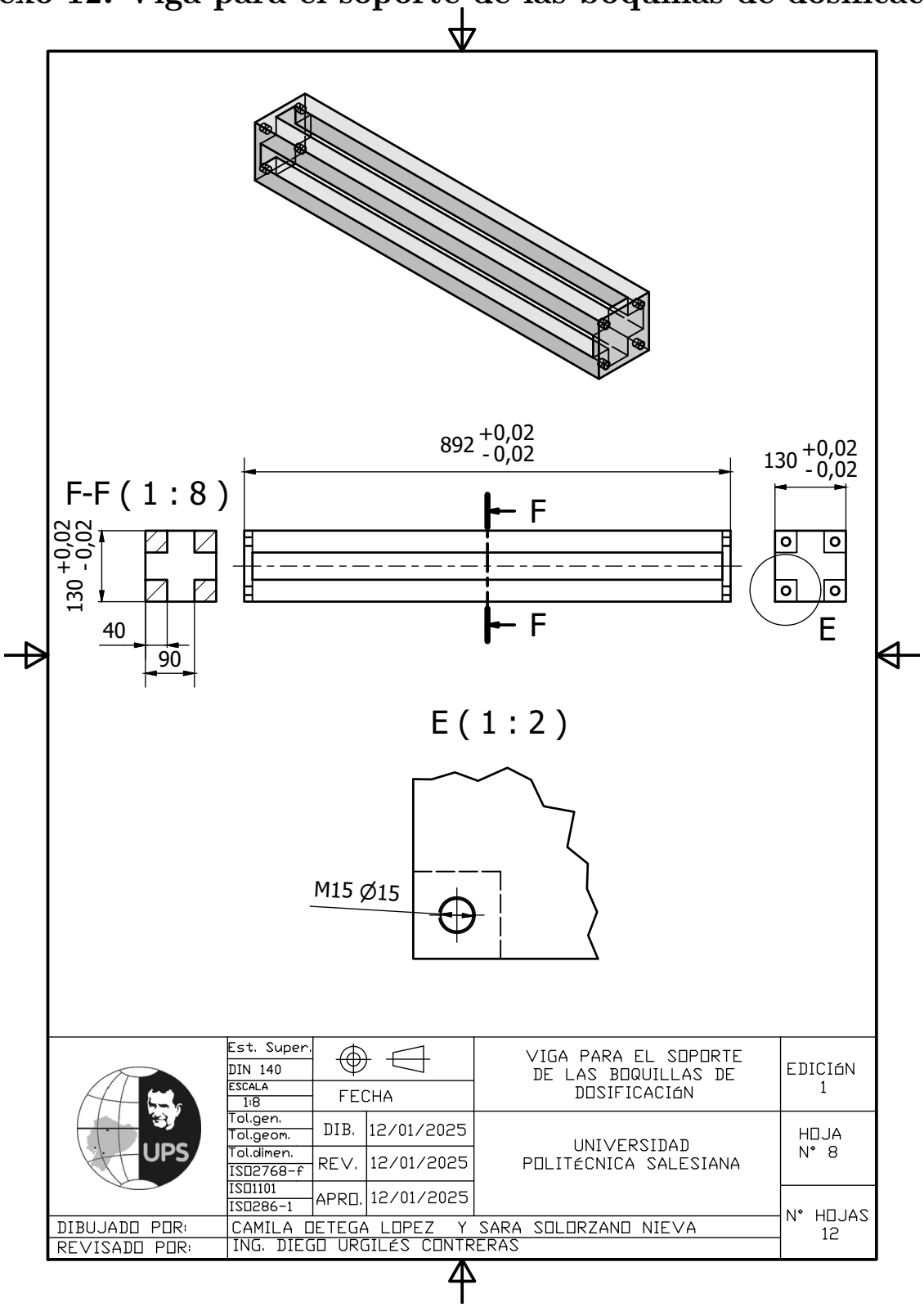


UPS	Est. Super. DIN 140			TOLVA DE DOSIFICACIÓN	EDICIÓN 1
	ESCALA 1:3	FECHA			
	Tol.gen. Tol.geom. Tol.dimen. ISO2768-f ISO1101 ISO286-1	DIB.	25/01/2025	UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA	HOJA N° 6
		REV.	25/01/2025		
		APRO.	25/01/2025		N° HOJAS 12
DIBUJADO POR:	CAMILA OETEGA LOPEZ Y SARA SOLORZANO NIEVA				
REVISADO POR:	ING. DIEGO URGILÉS CONTRERAS				

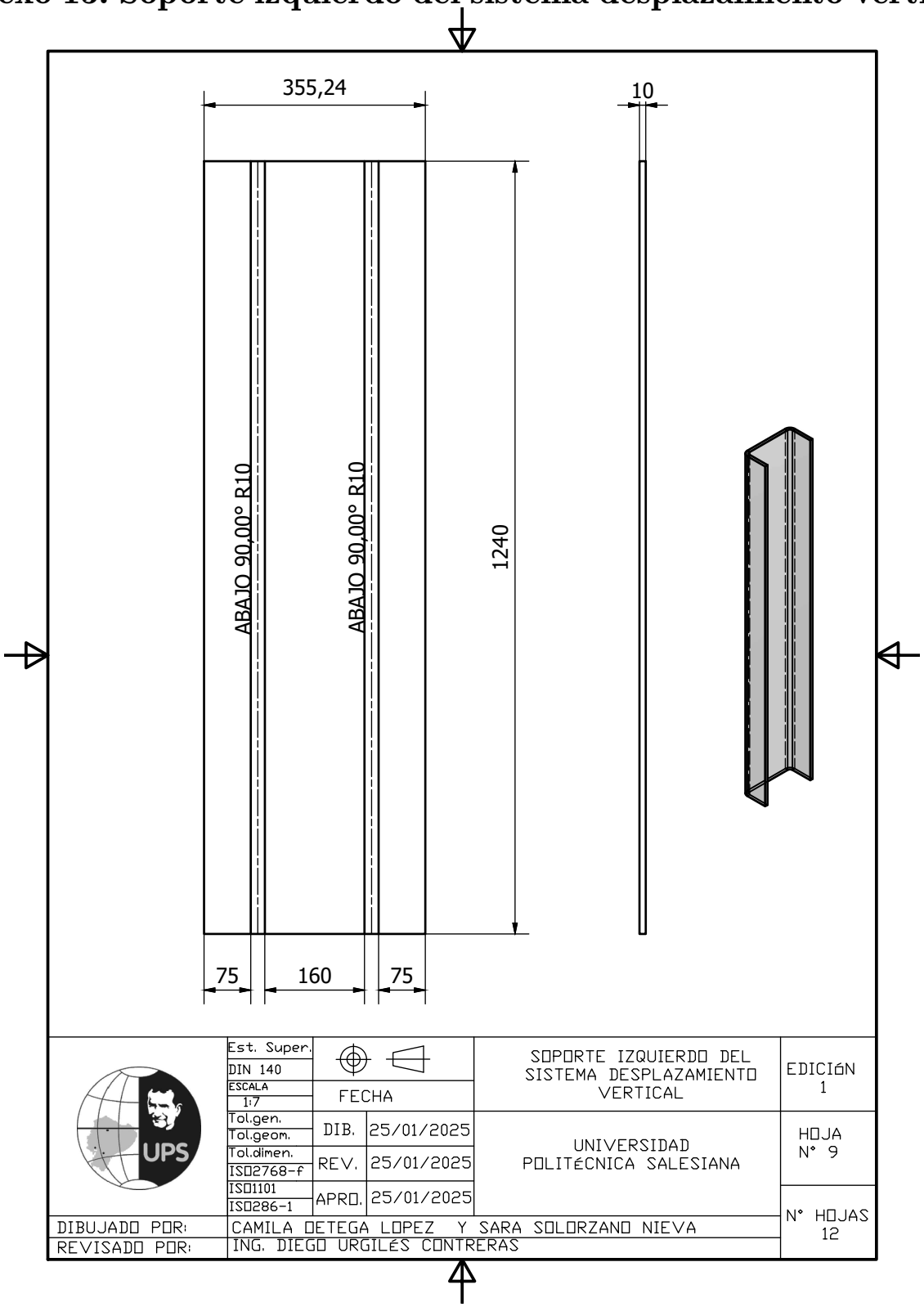
Anexo 11: Medidas - Soporte para tolvas



Anexo 12: Viga para el soporte de las boquillas de dosificación

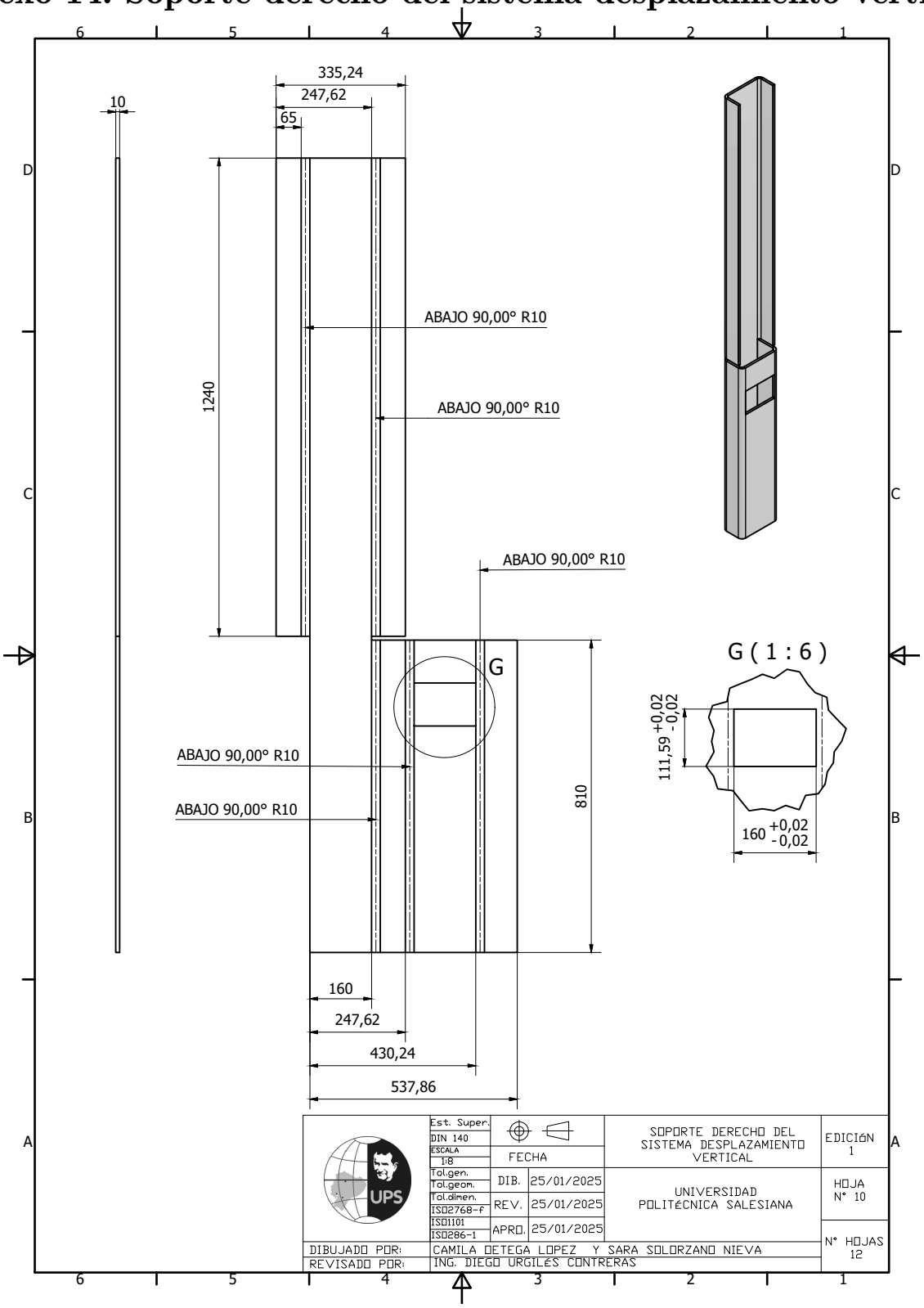


Anexo 13: Soporte izquierdo del sistema desplazamiento vertical

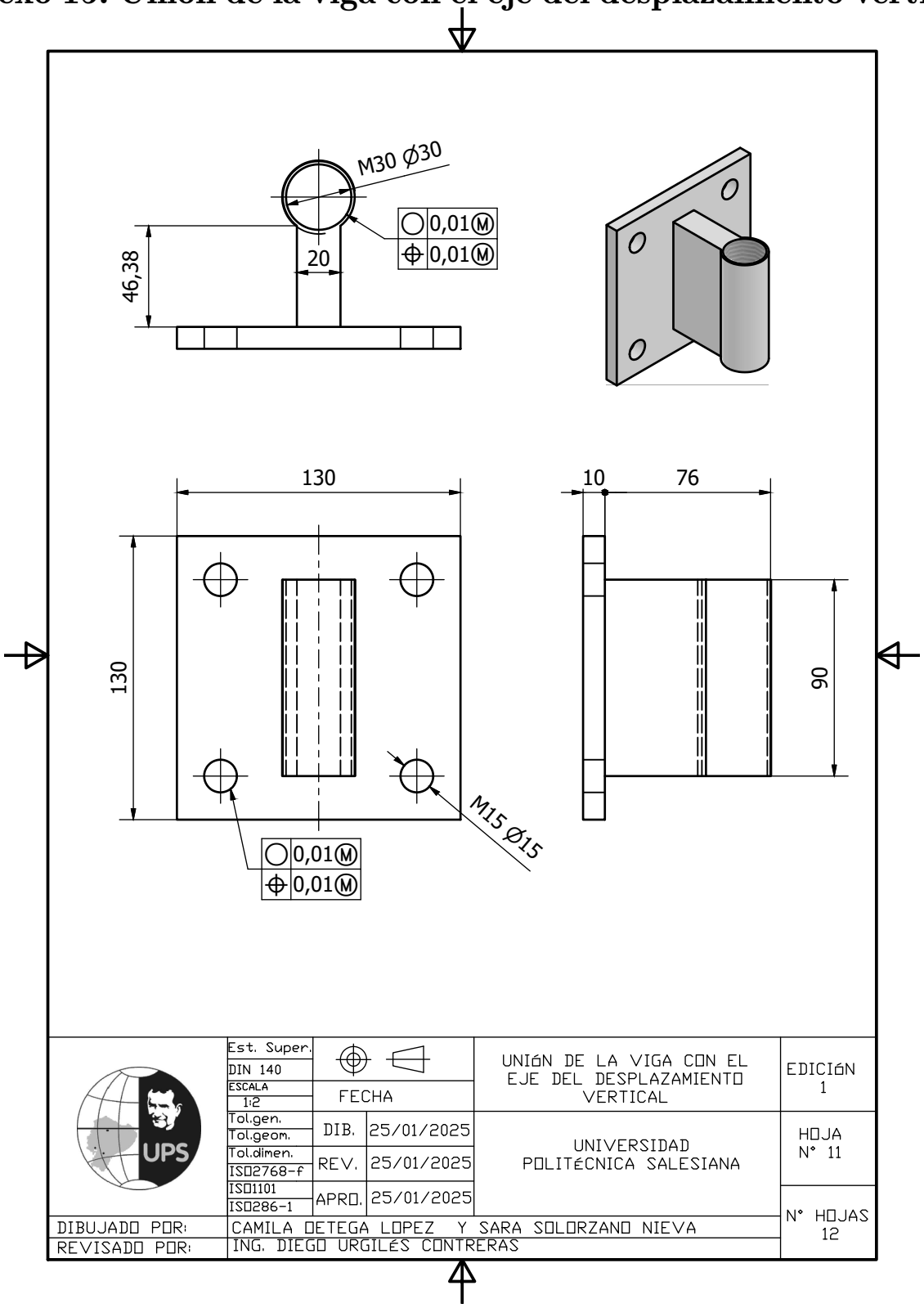


UPS	Est. Super. DIN 140			SOPORTE IZQUIERDO DEL SISTEMA DESPLAZAMIENTO VERTICAL	EDICIÓN 1
	ESCALA 1:7	FECHA			
	Tol.gen. Tol.geom. Tol.dimen. ISO2768-f ISO1101 ISO286-1	DIB.	25/01/2025	UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA	HOJA N° 9
		REV.	25/01/2025		
		APRO.	25/01/2025		N° HOJAS 12
DIBUJADO POR:	CAMILA OETEGA LOPEZ Y SARA SOLORZANO NIEVA				
REVISADO POR:	ING. DIEGO URGILÉS CONTRERAS				

Anexo 14: Soporte derecho del sistema desplazamiento vertical

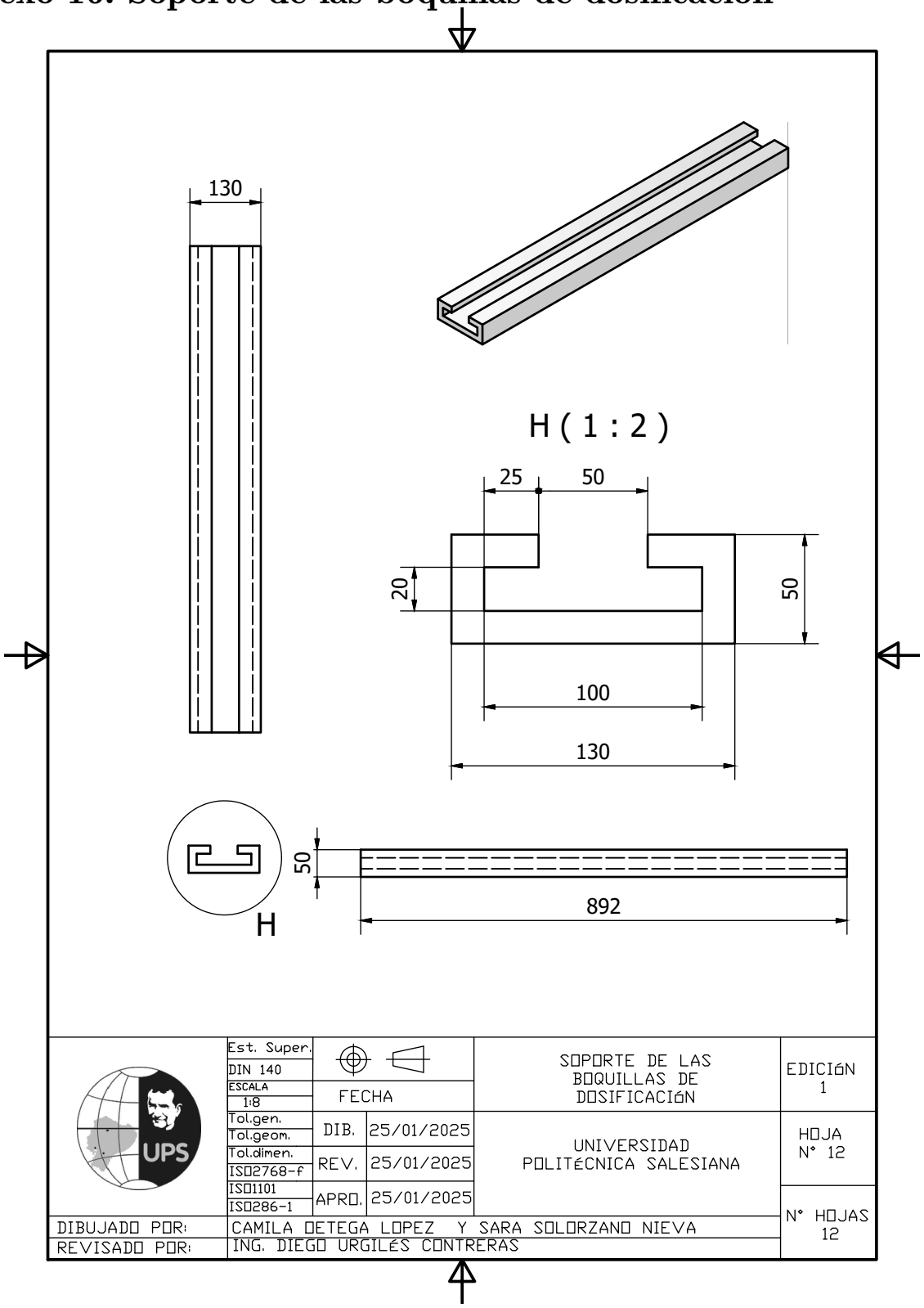


Anexo 15: Unión de la viga con el eje del desplazamiento vertical



UPS	Est. Super. DIN 140 / ESCALA 1:2 / Tol.gen. / Tol.geom. / Tol.dimen. / ISO2768-f / ISO1101 / ISO286-1	FECHA		UNIÓN DE LA VIGA CON EL EJE DEL DESPLAZAMIENTO VERTICAL	EDICIÓN 1
		DIB.	25/01/2025	UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA	HOJA N° 11
		REV.	25/01/2025		
		APRO.	25/01/2025		N° HOJAS 12
DIBUJADO POR:	CAMILA OETEGA LOPEZ Y SARA SOLORZANO NIEVA				
REVISADO POR:	ING. DIEGO URGILÉS CONTRERAS				

Anexo 16: Soporte de las boquillas de dosificación



UPS	Est. Super. DIN 140			SOPORTE DE LAS BOQUILLAS DE DOSIFICACIÓN	EDICIÓN 1
	ESCALA 1:8	FECHA			
	Tol.gen. Tol.geom.	DIB.	25/01/2025	UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA	HOJA N° 12
	Tol.dimen. ISO2768-f	REV.	25/01/2025		
	ISO1101 ISO286-1	APRO.	25/01/2025		N° HOJAS 12
DIBUJADO POR:	CAMILA CETEGA LOPEZ Y SARA SOLORZANO NIEVA				
REVISADO POR:	ING. DIEGO URGILÉS CONTRERAS				