



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE
CHIMBORAZO**

FACULTAD DE MECÁNICA

ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA

**“DESARROLLO DE UNA MÁQUINA ENVASADORA Y
TAPADORA DE YOGURT PARA LA FÁBRICA LÁCTEOS
SAN FRANCISCO”**

MEDINA LESCOANO GIOVANNY FERNANDO

PROYECTO DE TITULACIÓN

Previa a la obtención del Título de:

INGENIERO MECÁNICO

RIOBAMBA – ECUADOR

2017

ESPOCH

Facultad de Mecánica

APROBACIÓN DEL PROYECTO DE TITULACIÓN

2015-10-07

Yo recomiendo que el Proyecto de Titulación preparado por:

MEDINA LESCANO GIOVANNY FERNANDO

Titulada:

**“DESARROLLO DE UNA MÁQUINA ENVASADORA Y TAPADORA DE YOGURT
PARA LA FÁBRICA LÁCTEOS SAN FRANCISCO”**

Sea aceptada como parcial complementación de los requerimientos para el Título de:

INGENIERO MECÁNICO

Mariño

Ing. Carlos José Santillán

**DECANO DE LA FAC. DE
MECÁNICA**

Nosotros coincidimos con esta recomendación:

Ing. Miguel Aquino S.

DIRECTOR DE TESIS

Ing. Edwin Pozo

ASESOR DE TESIS

ESPOCH

Facultad de Mecánica

EXAMINACIÓN DEL PROYECTO DE TITULACIÓN

NOMBRE DEL ESTUDIANTE: MEDINA LESCANO GIOVANNY FERNANDO

TÍTULO DEL PROYECTO DE TITULACIÓN: “DESARROLLO DE UNA MÁQUINA ENVASADORA Y TAPADORA DE YOGURT PARA LA FÁBRICA LÁCTEOS SAN FRANCISCO”

Fecha de Examinación: 2017-03-24

RESULTADO DE LA EXAMINACIÓN:

COMITÉ DE EXAMINACIÓN	APRUEBA	NO APRUEBA	FIRMA
Ing. Geovanny Novillo Andrade PRESIDENTE TRIB. DEFENSA			
Ing. Miguel Aquino S. DIRECTOR DE TESIS			
Ing. Edwin Pozo ASESOR			

* Más que un voto de no aprobación es razón suficiente para la falla total.

RECOMENDACIONES: _____

El Presidente del Tribunal certifica que las condiciones de la defensa se han cumplido.

Ing. Geovanny Novillo Andrade
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

DERECHOS DE AUTORÍA

El Trabajo de Titulación que presento, es original y basado en el proceso de investigación y/o adaptación tecnológica establecido en la Facultad de Mecánica de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. En tal virtud, los fundamentos teórico-científicos y los resultados son de exclusiva responsabilidad de los autores. El patrimonio intelectual le pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Giovanny Fernando Medina Lescano

DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD

Yo, Medina Lescano Giovanni Fernando, declaro que el presente trabajo de titulación es de mi autoría y que los resultados del mismo son auténticos y originales. Los textos constantes en el documento que provienen de otra fuente están debidamente citados y referenciados.

Como autor, asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este trabajo de titulación.

Medina Lescano Giovanni Fernando

Cedula de Identidad: 180449086-8

DEDICATORIA

Dedico principalmente este logro a Dios, quien con sabiduría y fuerza supo guiarme durante todo el camino hasta llegar a cumplir tan anhelada meta profesional.

A mis queridos padres Geovanny y María por ser un pilar fundamental en mi vida, quienes me ayudaron a vencer cada uno de los obstáculos y por su apoyo incondicional que me brindaron durante todo el transcurso de esta meta.

A mis hermanas Mishel, Sandra y Sheila, que con mucho cariño y compañía siempre me ayudaron a seguir siempre adelante.

Giovanny Fernando Medina Lescano

AGRADECIMIENTO

Mi más sincero y afectuoso agradecimiento a Dios, a mis padres y a mis hermanas por todo el apoyo brindado durante todos estos años que me han ayudado a cumplir tan anhelado sueño.

A la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, en especial a la Escuela de Ingeniería Mecánica, por brindarme la oportunidad de obtener una profesión y ser una persona útil a la sociedad.

Agradezco a los Ingenieros Miguel Aquino, Edwin Pozo y en especial al Ingeniero Edwin Granizo, quienes me brindaron su amistad, conocimiento y experiencia, por toda la ayuda y apoyo brindado para culminar con éxito una etapa más de mi vida.

Giovanny Fernando Medina Lescano

CONTENIDO

	Pag
1. GENERALIDADES	1
1.1 Introducción	1
1.2 Planteamiento del problema.....	2
1.3 Justificación	2
1.3.1 <i>Justificación técnica</i>	2
1.3.2 <i>Justificación económica</i>	2
1.3.3 <i>Justificación social</i>	2
1.4 Objetivos	2
1.4.1 <i>Objetivo general</i>	2
1.4.2 <i>Objetivos específicos</i>	3
2. MARCO REFERENCIAL SOBRE LOS SISTEMAS DE ENVASADO	
TAPADO Y TRANSPORTE PARA EL YOGURT	4
2.1 El yogurt, características y tecnología de producción	4
2.1.1 <i>Tecnología del yogurt</i>	4
2.1.2 <i>Yogurt</i>	5
2.1.3 <i>Tipos de envases</i>	7
2.1.3.1 <i>Identificación y clasificación de los plásticos</i>	8
2.2 Máquinas y componentes utilizados en el proceso de elaboración del yogurt	8
2.2.1 <i>Envasadora</i>	8
2.2.1.1 <i>Envasadora lineal</i>	9
2.2.1.2 <i>Envasadora rotativa</i>	10
2.2.2 <i>Tapadora o roscadora de botellas</i>	12
2.2.2.1 <i>Tapadora o roscadora manual de Tapas ERM (EQUITEK)</i>	12
2.2.2.2 <i>Tapadora o roscadora de tapas lineal ERAL (EQUITEK)</i>	13
2.2.3 <i>Banda transportadora</i>	14
2.2.3.1 <i>Transportadora de rodillos</i>	15
2.2.3.2 <i>Transportadora de placas articuladas</i>	16
2.3 Tipos de llenado	16
2.3.1 <i>Llenado a nivel</i>	16

2.3.2	<i>Llenado a presión.</i>	17
2.3.3	<i>Llenado por pistón (industrial y estéril).</i>	17
2.3.4	<i>Llenado de pistón volumétrico.</i>	18
2.4	PLC	18
2.5	Metodología para el diseño de la máquina envasadora y tapadora.....	20
3.	DISEÑO CONCEPTUAL	23
3.1	Determinación de las especificaciones del proyecto	23
3.1.1	<i>Casa de la calidad o matriz QFD.</i>	23
3.1.1.1	<i>Voz del usuario.</i>	23
3.1.1.2	<i>Voz del ingeniero.</i>	24
3.1.1.3	<i>Análisis de la matriz QFD.</i>	25
3.1.1.4	<i>Conclusiones de la matriz QFD.</i>	26
3.1.2	<i>Especificaciones técnicas.</i>	27
3.2	Análisis funcional	28
3.2.1	<i>Definición de módulos.</i>	29
3.2.2	<i>Alternativas de solución para el módulo.</i>	29
3.2.2.1	<i>Adecuación.</i>	30
3.2.2.2	<i>Alimentación</i>	30
3.2.2.3	<i>Transportación.</i>	30
3.2.2.4	<i>Dosificación.</i>	31
3.2.2.5	<i>Tapado.</i>	33
3.2.3	<i>Alternativas de módulos.</i>	34
3.2.4	<i>Evaluación de los módulos.</i>	34
3.3	Características y elementos de la máquina.	37
3.3.1	<i>Mecanismo de transportación.</i>	37
3.3.2	<i>Mecanismo de dosificación.</i>	38
3.3.3	<i>Mecanismo de roscado.</i>	39
4.	DISEÑO DE INGENIERÍA	40
4.1	Diseño, selección y construcción.....	40
4.2	Diseño del sistema de transporte.....	40
4.2.1	<i>Banda transportadora.</i>	40

4.2.1.1	<i>Selección de la cadena para la banda transportadora.....</i>	41
4.2.1.2	<i>Selección del piñón motriz.....</i>	42
4.2.2	<i>Cálculo de la potencia necesaria.....</i>	42
4.2.2.1	<i>Cálculo de la fuerza por aceleración.....</i>	43
4.2.2.2	<i>Cálculo de la fuerza por fricción.....</i>	43
4.2.2.3	<i>Cálculo del momento de inercia del piñón.....</i>	44
4.2.2.4	<i>Cálculo del perímetro en contacto piñón cadena.....</i>	45
4.2.2.5	<i>Cálculo de la masa de la cadena en contacto con el piñón.....</i>	46
4.2.2.6	<i>Cálculo del momento de inercia de la cadena.....</i>	46
4.2.2.7	<i>Cálculo de la velocidad angular.....</i>	47
4.2.2.8	<i>Cálculo de la aceleración angular.....</i>	47
4.2.2.9	<i>Cálculo del toque por aceleración.....</i>	48
4.2.2.10	<i>Cálculo de la potencia eléctrica.....</i>	49
4.2.2.11	<i>Especificaciones técnicas de la caja reductora.....</i>	50
4.2.3	<i>Diseño del eje.....</i>	51
4.2.3.1	<i>Cálculo de la fuerza.....</i>	52
4.2.3.2	<i>Cálculo del torque.....</i>	52
4.2.3.3	<i>Diseño estático.....</i>	53
4.2.3.4	<i>Diseño a fatiga.....</i>	55
4.2.4	<i>Diseño de chaveta.....</i>	59
4.2.4.1	<i>Diseño a corte:.....</i>	60
4.2.4.2	<i>Diseño a aplastamiento:.....</i>	61
4.2.5	<i>Diseño de chavetero.....</i>	63
4.2.5.1	<i>Diseño a aplastamiento:.....</i>	63
4.2.6	<i>Chumaceras.....</i>	64
4.2.6.1	<i>Caso sin carga.....</i>	65
4.2.6.2	<i>Caso con carga.....</i>	66
4.2.7	<i>Guías de desgaste.....</i>	67
4.2.7.1	<i>Especificaciones de las guías de desgaste.....</i>	68
4.2.8	<i>Rieles guía.....</i>	68
4.2.9	<i>Soporte banda transportadora.....</i>	69
4.2.9.1	<i>Características geométricas.....</i>	69
4.2.9.2	<i>Análisis por el método de elementos finitos.....</i>	70
4.2.9.3	<i>Resultados de MEF.....</i>	71

4.3	Diseño del sistema de dosificación	72
4.3.1	<i>Bocines de deslizamiento.</i>	72
4.3.2	<i>Eje guía vertical.</i>	72
4.3.2.1	<i>Longitud de pandeo.</i>	73
4.3.2.2	<i>Razón de esbeltez.</i>	73
4.3.2.3	<i>Coefficiente de columna.</i>	74
4.3.2.4	<i>Ecuación de Euler.</i>	75
4.3.2.5	<i>Coefficiente de seguridad.</i>	75
4.3.3	<i>Chumaceras de soporte eje guía.</i>	75
4.3.3.1	<i>Caso sin carga.</i>	76
4.3.3.2	<i>Caso con carga.</i>	77
4.3.4	<i>Cálculo de la fuerza en el cilindro de almacenamiento</i>	79
4.3.4.1	<i>Cálculo de la velocidad del émbolo.</i>	79
4.3.4.2	<i>Cálculo de la aceleración del émbolo</i>	80
4.3.4.3	<i>Cálculo de la fuerza de subida.</i>	80
4.3.4.4	<i>Cálculo de la presión en la boquilla.</i>	81
4.3.4.5	<i>Cálculo de la fuerza necesaria para el cilindro neumático.</i>	82
4.4	Sistema de roscado	82
4.4.1	<i>Cálculo de la potencia de roscado.</i>	82
4.4.2	<i>Selección del dispositivo de roscado.</i>	83
4.4.3	<i>Boquilla para roscado.</i>	85
4.5	Sistema neumático	85
4.5.1	<i>Cilindro neumático para cabezal de dosificación.</i>	85
4.5.2	<i>Cilindro neumático para la succión del cilindro de almacenamiento.</i>	88
4.5.3	<i>Consumo de aire.</i>	90
4.5.4	<i>Mini cilindros neumáticos.</i>	91
4.5.4.1	<i>Mini cilindros para boquillas.</i>	91
4.5.4.2	<i>Mini cilindros para separar envases.</i>	92
4.5.5	<i>Electroválvulas.</i>	93
4.5.6	<i>Conectores neumáticos.</i>	94
4.5.7	<i>Unidad de mantenimiento neumático (FRL).</i>	95
4.5.8	<i>Sensor.</i>	96
5.	CONSTRUCCIÓN, MONTAJE Y PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO	98

5.1	Construcción de la máquina envasadora.....	98
5.1.1	<i>Elementos de construcción.</i>	99
5.1.2	<i>Tiempos de construcción.</i>	101
5.1.3	<i>Flujogramas de construcción.</i>	109
5.2	Montaje de la máquina envasadora.....	111
5.2.1	<i>Montaje del sistema de transporte.</i>	112
5.2.2	<i>Montaje del sistema de dosificación.</i>	112
5.2.3	<i>Montaje del sistema estructural.</i>	113
5.2.4	<i>Montaje del sistema de roscado.</i>	114
5.2.5	<i>Montaje de automatización.</i>	114
5.2.6	<i>Flujograma montaje de la máquina envasadora.</i>	115
5.3	Análisis de costos.....	115
5.3.1	<i>Costos directos.</i>	116
5.3.1.1	<i>Costo de materiales.</i>	116
5.3.1.2	<i>Costo de mano de obra.</i>	119
5.3.1.3	<i>Costos de equipos y herramientas</i>	120
5.3.1.4	<i>Costo por transporte.</i>	121
5.3.1.5	<i>Costos totales directos</i>	121
5.3.2	<i>Costos indirectos.</i>	121
5.3.3	<i>Costo total.</i>	121
5.4	Pruebas de funcionamiento	122
5.4.1	<i>Revisión de los dispositivos neumáticos y electrónicos.</i>	122
5.4.2	<i>Revisión de cantidad de líquido</i>	124
5.4.3	<i>Resultados de los ensayos.</i>	127
5.4.4	<i>Verificación de requerimientos.</i>	127
5.5	Conclusiones	128
5.6	Recomendaciones	129

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

LISTA DE TABLAS

	Pag
1. Usos más comunes de las resinas plásticas.....	8
2. Especificaciones técnicas.....	27
3. Combinación de soluciones para el módulo.	34
4. Evaluación de cada criterio.....	35
5. Ponderación de la velocidad de banda transportadora.....	36
6. Ponderación de tiempo de llenado.....	36
7. Ponderación del volumen de llenado.....	36
8. Ponderación de la fiabilidad.....	36
9. Ponderación del mantenimiento.....	37
10. Selección de la alternativa mejor ponderada.....	37
11. Especificaciones del cilindro Airtac SI 63x200.....	88
12. Especificaciones del cilindro Airtac SI 63x250.....	90
13. Especificaciones del cilindro Airtac SI 25x50.....	92
14. Especificaciones del cilindro Airtac SI 25x100.....	93
15. Especificaciones de la electroválvula 5/2.....	93
16. Especificaciones manguera neumática.....	94
17. Especificaciones conectores rápidos.....	95
18. Especificaciones de la unidad de mantenimiento neumático.....	96
19. Especificaciones del sensor de proximidad.....	96
20. Partes constructivas de la máquina envasadora.....	99
21. Tiempos de construcción de la máquina envasadora.....	102
22. Montaje del sistema de transporte.....	112
23. Montaje del sistema de dosificación.....	112
24. Montaje del sistema estructural.....	113
25. Montaje del sistema de roscado.....	114
26. Montaje de automatización.....	114
27. Tiempo total de construcción y montaje.....	115
28. Costo de materiales.....	116
29. Costo de mano de obra.....	119
30. Costo de equipos y herramientas.....	120
31. Costos totales directos.....	121

32.	Costos indirectos.....	121
33.	Costo total.....	122
34.	Ensayo de funcionamiento 1.....	122
35.	Ensayo de funcionamiento 2.....	124
36.	Resultado de los ensayos.....	127
37.	Porcentaje de cumplimiento.....	127

LISTA DE FIGURAS

	Pag
1. Diagrama de flujo del proceso de elaboración del yogurt	7
2. Envasadora de productos líquidos por nivel, Lineal (EQUITEK).....	9
3. Envasadora de productos líquidos por volumen, Lineal (EQUITEK).....	10
4. Envasadora de productos líquidos por nivel, Rotativo (EQUITEK)	11
5. Envasadora de productos líquidos por volumen, Rotativo (EQUITEK)	12
6. Tapadora o roscadora manual de Tapas ERM	13
7. Tapadora o roscadora de tapas lineal ERAL	13
8. Banda transportadora	15
9. Transportadora de rodillos	16
10. Transportadora de placas articuladas	16
11. Llenado a nivel.....	17
12. Llenado de presión.....	17
13. Llenado por pistón (industrial y estéril).....	18
14. Llenado de pistón volumétrico	18
15. Dispositivo PLC.....	19
16. Matriz QFD (Casa de la calidad)	26
17. Función primaria de la máquina en conjunto.....	28
18. Definición de módulos.....	29
19. Mecanismo de transportación	38
20. Mecanismo de dosificación	39
21. Mecanismo de roscado.....	39
22. Sistema de transporte	40
23. Especificaciones técnicas de banda transportadora	41
24. Selección del piñón motriz	42
25. Dimensiones del cuñero.....	42
26. Piñón	44
27. Perfil contacto piñón cadena.....	45
28. Motor trifásico Weq.....	50
29. Caja reductora Varvel modelo SRT.....	50
30. Eje motriz.....	51
31. Diagrama de cortante y momento.....	53

32.	Radio de la muesca	57
33.	Geometría de la chaveta a corte	60
34.	Geometría de la chaveta a compresión	61
35.	Geometría de la chaveta a compresión	63
36.	Chumacera LDK	65
37.	Guías de desgaste	68
38.	Rieles y guía	68
39.	Soporte banda transportadora	69
40.	Geometría soporte banda transportadora	69
41.	Mallado del soporte	70
42.	Cargas y soportes	71
43.	Análisis soporte	71
44.	Esquema del sistema de dosificación	72
45.	Geometría bocín de deslizamiento	72
46.	Eje guía vertical	73
47.	Chumacera LDK	76
48.	Cilindro de almacenamiento	79
49.	Campbell Hausfeld CL252100AV	84
50.	Dimensiones de la tapa	85
51.	Geometría de boquilla de roscado	85
52.	Nomograma selección cilindro neumático	87
53.	Características del cilindro neumático Airtac	88
54.	Nomograma selección cilindro neumático	89
55.	Características del cilindro Airtac	90
56.	Consumo de aire cilindro Airtac SI 63x250	91
57.	Características del mini cilindro Airtac	91
58.	Características del mini cilindro Airtac	92
59.	Electroválvula 5/2	93
60.	Manguera neumática	94
61.	Conectores rápidos	95
62.	Unidad de mantenimiento neumático (FRL)	95
63.	Sensor de proximidad	96
64.	Flujograma del sistema de transporte.	110
65.	Flujograma del sistema de dosificación	110

66.	Flujograma del sistema estructural.	110
67.	Flujograma del sistema de roscado	111
68.	Flujograma del sistema neumático	111
69.	Flujograma del sistema de control y eléctrico	111
70.	Flujograma montaje de la máquina envasadora.....	115

LISTA DE ABREVIATURAS

PLC	Controlador lógico programable
AISI	Instituto americano del hierro y el acero
AWG	Calibre de alambre estadounidense
UNC	Rosca Americana Unificada
NBR	Nitrilo butadieno
TIG	Soldadura por arco por gas de tungsteno
FRL	Unidad de mantenimiento neumático
SI	Sistema internacional
INEN	Instituto Ecuatoriano de Normalización
NTE	Normativa técnica ecuatoriana
SPI	Sociedad de la Industria de Plásticos
HDPE	Poliétileno de alta densidad
PP	Polipropileno

LISTA DE ANEXOS

- A Velocidades máximas recomendadas de las cadenas Rexnord
- B Factores de concentración de esfuerzo k_f para estimaciones de primera iteración
- C Propiedades del acero
- D Propiedades físicas de algunos materiales
- E Límite de resistencia a la fatiga en viga giratoria
- F Factores que modifican el límite de resistencia a la fatiga
- G Resistencia de algunos aceros
- H Chumacera serie Suc
- I Factor de carga, vida útil y factor de velocidad
- J Torque sugerido para tapas según su diámetro
- K Manuales

RESUMEN

La máquina envasadora y tapadora de yogurt tiene como objetivo, aumentar la línea de producción en el proceso de envasado de yogurt de la fábrica Lácteos San Francisco, dosificando la cantidad adecuada de producto en los envases de 1000 ml y 2000 ml y reduciendo el tiempo de envasado. Para determinar la mejor alternativa se emplearon los criterios establecidos en el diseño concurrente, utilizando como herramienta la casa de la calidad, que permite una fácil relación entre los requerimientos del cliente y soluciones del ingeniero, posteriormente realizar el análisis de las diferentes posibles soluciones y seleccionar la mejor alternativa. Seleccionando una máquina envasadora lineal con dosificación volumétrica y roscador neumático. La máquina está diseñada en función de la geometría del envase a dosificar y construida en su totalidad de acero inoxidable AISI 304. Se seleccionó accesorios de acople rápido de material acero inoxidable AISI 316. Todos los materiales cumplen con los estándares de calidad requeridos para la industria alimenticia, con la finalidad de que el yogurt elaborado sea de calidad y de competitividad para el mercado ecuatoriano. La máquina consta de un sistema automatizado que es controlado por medio de un PLC Siemens S7-1200, que se encarga de coordinar correctamente cada una de las diferentes funciones existentes en el proceso lineal de envasado, el proceso concluye con el adecuado tapado de los envases que realiza el operario haciendo uso de un dispositivo neumático de roscado. Mediante las diferentes pruebas se determinó que la máquina tiene la capacidad de producir 21 envases de 1000 ml por minuto y 15 envases de 2000 ml por minuto, lo que hace que la producción de la fábrica incremente en un 90,09% y 66,66% respectivamente.

PALABRAS CLAVE: <DISEÑO CONCURRENTE>, <ENVASADORA LINEAL>, <DOSIFICACIÓN VOLUMÉTRICA>, <ROSCADOR NEUMÁTICO>, <SISTEMA AUTOMATIZADO>, <PROGRAMMABLE LOGIC CONTROLLER (PLC)>, <DISPOSITIVO NEUMÁTICO>, <PROCESO LINEAL>.

ABSTRACT

The yogurt filling and capping machine aims to increase the production line in the yogurt packing process of the San Francisco dairy factory by dosing the appropriate amount of product in the 1000 ml and 2000 ml containers and reducing the packing. In order to determine the best alternative, the criteria established in the concurrent design were used, using as a tool the house of quality, which allows an easy relationship between the customer's requirements and the engineer's solutions, then perform the analysis of the different possible solutions and select the best alternative. Selecting a linear packing machine with volumetric dosing and pneumatic cap-fastening machine. The machine is designed according to the geometry of the container to be dosed and constructed entirely of AISI 304 stainless steel. Quick coupling accessories made of AISI 316 stainless steel material have been selected. All the materials comply with the quality standards required by the food industry, with the purpose of getting a quality and competing elaborated yogurt for the Ecuadorian market. The machine consists of an automated system that is controlled by a Siemens S7-1200 PLC, which is in charge of coordinating each one of the different functions in the linear process of packaging, the process concludes with the adequate capping of the containers that is carried out by the operator using a pneumatic cap-fastening device. Through the different tests it was determined that the machine has the capacity to produce 21 containers of 1000 ml per minute and 15 containers of 2000 ml per minute, which increases the factory production in 90,09% and 66,66 % respectively.

KEYWORDS: <CONCURRENT DESIGN>, <LINEAR PACKAGING MACHINE>, <VOLUMETRIC DOSING>, <PNEUMATIC CAP-FASTENING MACHINE>, <AUTOMATED SYSTEM>, <PROGRAMMABLE LOGIC CONTROLLER (PLC)>, <PNEUMATIC DEVICE>, <LINEAR PROCESS>.

CAPÍTULO I

1. GENERALIDADES

1.1 Introducción

En un mundo globalizado cada vez más competitivo, algunas economías emergentes como China han experimentado un espectacular crecimiento en el sector industrial alimentaria. Los productos con mejor calidad y a menor precio dominan el mercado. La automatización proporciona una optimización de los procesos de producción que reduciendo costos y un mayor control de los parámetros de calidad y seguridad alimentaria. Por otro lado, las características específicas del sector son idóneas para aplicar estos procesos con materias primas perecederas y de muy diferente naturaleza, procedimientos de producción variables o productos terminados con una vida útil corta que exigen una gran eficacia en la realización de procesos. La elevada necesidad de mano de obra capacitada y entrenada, es cada vez más escasa, además la influencia y repercusión de la misma sobre parámetros de calidad e higiene, son otros puntos que se deben tener en cuenta para valorar la posible automatización en procesos alimentarios.

La fábrica “LÁCTEOS SAN FRANCISCO”, se encuentra ubicada en la provincia de Tungurahua, Cantón Píllaro, Barrio García Moreno, elabora derivados tales como: queso y yogurt en varias presentaciones a partir de la leche proveniente de lugares aledaños. La fábrica trabaja 8 horas diaria, los 365 días del año con el objetivo de proporcionar a sus consumidores productos de buena calidad y competitividad en el mercado alimenticio. También brinda empleo a personas cercanas al sector con bajo recursos económicos.

Actualmente la fábrica cuenta con una cantidad de 2000 litros diarios de leche que es utilizada para la elaboración de diferentes productos lácteos. La demanda en el mercado de yogurt aumento para la fábrica en los últimos años llegando a producir alrededor de 4000 litros semanales, por lo que se vio en la necesidad de aumentar la producción de yogurt con el fin de cubrir dicha demanda. La fábrica al no contar con un sistema automatizado de envasado y tapado tuvo la necesidad de contratar más mano de obra, por lo que tuvo un aumento de empleados y horas de trabajo, sin saber que en un futuro

próximo se produjeran problemas de seguridad en tapa del envase, calidad e higiene en el producto final. Estos problemas produjeron a la fábrica que sus ingresos de ventas disminuyeran y aumentara su producto defectuoso, produciendo así pérdidas económicas.

1.2 Planteamiento del problema

El problema de investigación que se quiere solucionar es que en la fábrica LÁCTEOS SAN FRANCISCO el proceso para el envasado de yogurt se lo realiza de manera artesanal por lo que tiene un elevado costo y baja calidad de producción, debido a que no cuenta con una máquina automática para el proceso de envasado y tapado de yogurt.

La empresa se vio en la necesidad de mejorar su sistema de envasado de yogurt, incorporando a su línea procesos automatizados para reducir los tiempos de envasado, aumentar la producción y controlar la calidad del producto. El presente proyecto está orientado empresas de mediana producción.

1.3 Justificación

1.3.1 Justificación técnica. Con el desarrollo de la máquina se puede garantizar incrementar la producción y disminuir los costos del producto final para cubrir con la demanda del mercado.

1.3.2 Justificación económica. La máquina que se va a desarrollar será más económica a comparación con una máquina automatizada para el proceso de envasado y tapado existente mercado que es muy costosa.

1.3.3 Justificación social. Con la máquina, la fábrica garantiza que su producto final sea de mejor calidad y competitividad para el mercado ecuatoriano, cumpliendo con estándares de calidad.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo general.

Desarrollar una máquina envasadora y tapadora, de fácil manejo, usando la metodología de diseño más adecuada, para el yogurt elaborado por la fábrica Lácteos San Francisco.

1.4.2 *Objetivos específicos*

- Recopilar y analizar la información necesaria sobre los elementos, equipos y materiales que intervienen en el envasado, tapado y banda transportadora, haciendo uso de literatura especializada en el tema para conocer el funcionamiento del proceso.
- Realizar el diseño del concepto y detalle para seleccionar la mejor opción de entre las diferentes alternativas, que permita solucionar la fase de envasado, tapado y transporte del producto.
- Diseñar y seleccionar los diferentes elementos que forman parte de la máquina, de acuerdo a la mejor alternativa que permita solucionar el problema.
- Realizar el montaje y pruebas de funcionamiento de los diferentes equipos y dispositivos de acuerdo a los parámetros y características de trabajo para validar este proyecto.

CAPÍTULO II

2. MARCO REFERENCIAL SOBRE LOS SISTEMAS DE ENVASADO, TAPADO Y TRANSPORTE PARA EL YOGURT

La elaboración del yogurt está basada según normas técnicas para el manejo y procesamiento del mismo con el fin brindar a los consumidores un producto de calidad que sea apto para el consumo humano. En los diferentes procesos de elaboración del yogurt existen muchos equipos que tienen con finalidad cumplir su objetivo, la mayor parte de los equipos deben estar contruidos de un material que sea resistente y anticorrosivo debido a que están expuestos a un ambiente húmedo. En el mercado hay una gran variedad de envasadoras, tapadoras y transportadoras con diferentes características por lo que se estudiara y analizara cada una para seleccionar la alternativa más adecuada según las necesidades de la fábrica.

2.1 El yogurt, características y tecnología de producción

2.1.1 Tecnología del yogurt. La industria láctea ecuatoriana debe que cumplir con normas técnicas para el manejo y el procesamiento de diferentes productos lácteos, que se establece en la norma NTE INEN 2395:2011 Segunda revisión 2011-07.

La norma establece los requisitos que deben cumplir las leches fermentadas con ingredientes y tratadas térmicamente, que son destinadas para el consumo directo de los usuarios.

Las leches fermentadas deben cumplir con las siguientes normas: elaboración NTE INEN 09, pasteurización NTE INEN 10, esterilización NTE INEN 701 y mancipación bajo condiciones sanitarias según el Reglamento de Buenas Prácticas de Manufactura del Ministerio de Salud Pública.

Las leches fermentadas deben mantenerse en refrigeración durante toda su vida útil y el producto para su comercialización debe cumplir con lo dispuesto en la Ley del Sistema Ecuatoriano de la Calidad.

2.1.2 Yogurt. Es el producto coagulado obtenido por fermentación láctica de la leche o mezcla de esta con derivados lácteos, mediante la acción de bacterias lácticas *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus* y *Streptococcus salivaris* subsp. *thermophilus*, pudiendo estar acompañadas de otras bacterias benéficas que por su actividad le confieren las características al producto terminado; estas bacterias deben ser viables y activas desde su inicio y durante toda la vida útil del producto. Puede ser adicionado o no de los ingredientes y aditivos indicados en esta norma. (INEN, 2011). Los procesos de elaboración del yogurt son:

- Almacenamiento de leche

A diario la leche ingresa a la empresa donde es analizada, clasificada y almacenada en tanques de acero inoxidable, manteniéndose a una temperatura entre 4 – 6 °C y a un tiempo máximo de almacenamiento de 24 horas para su utilización.

- Estandarización

En este proceso la mezcla es calentada a una temperatura entre 40 – 50 °C en un recipiente de acero inoxidable 304 para posteriormente agregar azúcar blanca refinada como estabilizador de acuerdo al producto que se va a elaborar, en esta etapa se realiza una agitación constante de toda la mezcla hasta conseguir una composición que cumpla con las normas técnicas establecidas para la elaboración de yogurt.

- Homogeneización

En este proceso la mezcla estandarizada pasa por un homogeneizador a una presión de 2000 - 2500 psia para evitar que la grasa presente en la leche se separe. La viscosidad de la mezcla aumenta produciendo consistencia y estabilidad del yogurt como producto final.

- Pasteurización

El objetivo del tratamiento térmico es de llevar la leche homogeneizada hasta una temperatura de 85-90 °C durante un tiempo no mayor a 10 minutos con el fin de

eliminar todo agente microbiano patógeno que contiene la leche, causante de enfermedades al ser humano.

- Enfriamiento

Para añadir el cultivo láctico, el producto debe enfriarse hasta una temperatura de 40 - 45 °C utilizando un intercambiador de calor, esta operación debe realizarse lo más higiénicamente posible con el fin de no contaminar el producto.

- Inoculación

Se adiciona al producto una mezcla entre 2-3% el cultivo liofilizado (compuesto por *Lactobacillus bulgaricus* y *Streptococcus thermophilus*) de forma directa y agitando el producto lentamente durante 2 min con el agitador. Tomar medidas higiénicas para evitar una contaminación del producto.

- Incubación

En esta etapa el producto con el cultivo se debe incubar a una temperatura de 40 - 45 °C durante un tiempo entre 6 - 8 horas para que se desarrolle óptimamente el cultivo adicionado y el yogurt adquiera un PH de 4,6 – 4,7. Con el fin de que la concentración de hidrogeno y acidez sea la correcta.

- Agitación

Cuando el yogurt haya alcanzado su contextura adecuada se enciende el agitador para posteriormente adicionar aditivos como: conservador, colorante y saborizante. El yogurt se enfría hasta que alcance una temperatura de 10 – 12 °C para que posteriormente pase a la etapa de envasado.

- Envasado

Después de que el producto es agitado debe ser colocado en envases de diferentes presentaciones o tamaños, luego pasa al sistema de tapado de los envases el cual se realiza de forma manual o automática.

- Almacenamiento

El producto es empacado en cartones o gavetas para ser colocados en cámaras frigoríficas que mantengan el producto a una temperatura de 4 a 6 °C para su posterior distribución.

- Despacho y transporte

El despacho y transporte del producto se lo realiza de acuerdo a la demanda de los consumidores.

Figura 1. Diagrama de flujo del proceso de elaboración del yogurt



Fuente: Autor

2.1.3 Tipos de envases. Los envases son muy importantes ya que sirven como protección y preservación de diferentes productos alimenticios contra la contaminación de bacterias y otros microorganismos, ayudan a mantener el sabor del producto y en su diseño proporcionan comodidad, calidad y seguridad al momento de manipular, distribuir y presentar el producto final en el mercado.

2.1.3.1 Identificación y clasificación de los plásticos. Los plásticos que comúnmente son usados en el envasado de diferentes productos fueron introducidos por la Society of the Plastics Industry (SPI) en los Estados Unidos (1988).

Actualmente en el Ecuador existe la norma NTE INEN 2634:2012-07 que establece los diferentes requisitos que debe cumplir el manejo de desechos plásticos de postconsumo regenerados por los sectores: industrial, comercial, negocios y productos que son de uso personal. (INEN, 2012).

A continuación, se describe el código de la resina, descripción y las aplicaciones que esta tiene en los diferentes productos a utilizarse, identificados según el sistema de codificación de la Sociedad de la Industria de Plásticos (SPI) preinscritos en la norma NTE INEN 2636:2012-07.

Tabla 1. Usos más comunes de las resinas plásticas

CÓDIGO DE LA RESINA	DESCRIPCIÓN	APLICACIONES DEL PRODUCTO
	<p>Poliétileno de alta densidad (PEAD, HDPE). Es utilizado para elaborar diversos tipos de envases. Los envases no pigmentados son traslúcidos, tienen buenas propiedades de barrera y rigidez y son adecuados para envasado de productos con una corta vida de estante como la leche. Debido a que el HDPE tiene buena resistencia química, se usa para el envasado de muchos productos químicos domésticos e industriales tales como detergentes y lejía. Las botellas pigmentadas de HDPE tienen mejor resistencia al estrés por agrietamiento que aquellas de HDPE no pigmentado.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Envases para lácteos, agua, jugo, cosméticos, champú, detergente para platos y lavandería y limpiadores domésticos. • Bolsas para alimentos y compras al por menor. • Fundas de cajas de cereales. • Contenedores reutilizables. • Además de los envases, el mayor uso del HDPE son las aplicaciones en moldeado por inyección, tubería y conducto extrudados, agregados de "madera plástica", y cubierta de alambres y cables.
	<p>Polipropileno (PP). El PP tiene buena resistencia química, es fuerte y tiene un elevado punto de fusión por lo que le da aptitud para ser llenado con líquidos en caliente. Esta resina se encuentra en embalajes flexibles y rígidos, fibras y grandes piezas moldeadas para automóviles y productos de consumo.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Contenedores para yogur, margarina, comidas para llevar y alimentos gourmet. • Botellas de medicamentos y cosméticos. Tapas de botellas y cierres. Sorbetes. Botellas de salsa de tomate y jerez. • Además de los envases, los principales usos del PP están en fibras, artefactos y productos de consumo, incluidas aplicaciones de larga duración, como tuberías, accesorios, válvulas, sogas, manguitos, partes y accesorios automotrices y alfombrados.

Fuente: Norma NTE INEN 2636:2012-07.

2.2 Máquinas y componentes utilizados en el proceso de elaboración del yogurt

2.2.1 Envasadora. Es una máquina que realiza un proceso, el cual consiste en colocar adecuadamente el envase bajo la boquilla para introducir el producto en el interior del envase, es muy usada por empresas que tengan pequeños o grandes lotes de producción

y que buscan mejorar su proceso de producción con equipos sencillos, económicos, eficientes y confiables, existen varios tipos de envasadoras:

2.2.1.1 Envasadora lineal. En estas máquinas el proceso de envasado se realiza en forma lineal, logrando velocidades de producción moderadas, son sumamente prácticas al envasar el producto en diferentes tamaños de envase, su operación se realiza en forma automática logrando un proceso eficiente y confiable. Estos tipos de envasadoras son utilizadas en plantas de mediana producción.

De acuerdo al proceso de envasado se clasifican en dos métodos:

Envasadora de productos líquidos por nivel, Lineal (EQUITEK). Es una máquina envasadora automática diseñada para empresas que deseen mejorar su proceso productivo de envasado de líquidos de baja viscosidad mediante equipos robustos, prácticos y sencillos. Este equipo es utilizado para el envasado de productos como alimenticios (yogurt, leche), químicos (detergentes, jabón), agua entre otros. La máquina tiene un sistema de boquillas para el llenado de los envases, que inyecta el volumen correcto por medio de una bomba sanitaria regulado el flujo y el exceso de producto regresa al tanque de almacenamiento. La máquina es accionada por medio de un PLC y puede dosificar hasta 12 boquillas simultáneamente. (EQUITEK, 2013).

Figura 2. Envasadora de productos líquidos por nivel, Lineal (EQUITEK)



Fuente: <http://www.equitek.com.mx/máquinas-llenadoras/>

Envasadora de productos líquidos por volumen, Lineal (EQUITEK). Es utilizada por empresas que buscan optimizar su proceso productivo para hacer más eficiente el

proceso de envasado, es utilizado en productos líquidos de alta, mediana o baja viscosidad como mermeladas, salsas, bebidas, productos lácteos, entre otros. Este equipo posee cabezales volumétricos, permitiendo llenar varios envases en diferentes velocidades, logrando un dosificado muy preciso. También permite acoplar dos, tres o cuatro cabezal con hasta 12 boquillas, lo cual hace posible envasar hasta 4 000 cc con el mismo equipo volumétrico y una producción de hasta 100 envases por minuto, solo intercambiando boquillas de llenado. El proceso es controlado por medio de un PLC. (EQUITEK, 2013).

Figura 3. Envasadora de productos líquidos por volumen, Lineal (EQUITEK)



Fuente: <http://www.equitek.com.mx/máquina-ensado/>

2.2.1.2 Envasadora rotativa. Los equipos de envasado rotativo, están enfocados para envasar grandes lotes de producción, y pueden alcanzar altas velocidades de producción dependiendo del número de boquillas de envasado del equipo. El objetivo de estos equipos es optimizar el rendimiento en el proceso de envasado tomando en cuenta la viscosidad del producto al momento de envasar, logrando así optimizar el rendimiento del equipo de envasado. De acuerdo al proceso de envasado se clasifican en dos métodos:

Envasadora de productos líquidos por nivel, Rotativo (EQUITEK). En estos equipos el sistema de envasado se realiza en forma rotativo. Producción de hasta 200 envases por minuto según el número de boquillas. Este equipo es utilizado para el envasado de productos como alimenticios (yogurt, leche), químicos (detergentes, jabón), agua entre otros. Es un equipo eficiente, con roscador para grandes lotes de producción y ocupan menor espacio. El sistema de boquillas está formado de 12 a 24 boquillas y con un diámetro de 13 a 25 mm dependiendo de la boca del envase a llenar.

Este sistema permite un llenado rápido, sin derrames, haciendo que el nivel de producto sea constante en los envases. (EQUITEK, 2013).

Figura 4. Envasadora de productos líquidos por nivel, Rotativo (EQUITEK)



Fuente: <http://www.equitek.com.mx/equipo-ensado-de-productos-liquidos/>

Envasadora de productos líquidos por volumen, Rotativo (EQUITEK). Es utilizado en su mayoría por empresas que buscan una alta precisión en el dosificado de envases con una capacidad de producción de hasta 350 envases por minuto en productos viscosos. Estos equipos de envasado tienen en un sistema de flujómetros electromagnéticos para un dosificado volumétrico.

El sistema de control cuenta con un algoritmo de auto-ajuste que revisa el volumen o peso dosificado con excelente precisión y repetitividad, y en caso de error, poder rechazar el envase que no cumpla con los parámetros de volumen o peso preestablecidos. El diseño de estos equipos contiene muy pocas partes dinámicas que reducen la posibilidad de contaminación del producto. Estos equipos pueden ser utilizados con productos viscosos como fármacos o alimentos delicados. (EQUITEK, 2013).

Figura 5. Envasadora de productos líquidos por volumen, Rotativo (EQUITEK)



Fuente: <http://www.equitek.com.mx/envasadora-botellas/>

2.2.2 Tapadora o roscadora de botellas. Estos equipos pueden ser automáticos o semiautomáticos, con operación neumática o eléctrica, que cumplen con las necesidades de la empresa o fábrica para realizar un proceso y garantizar la calidad del producto final.

2.2.2.1 Tapadora o roscadora manual de Tapas ERM (EQUITEK). Esta máquina es semiautomática con operación neumática y control de velocidad y torque, tiene un control de torque ajustable que limita la fuerza al cerrar de la tapa.

Este equipo es de fácil acople al equipo de envasado y sistema de balancín que se ajusta a la altura de éste sobre los envases. Los adaptadores para tapas son de acero inoxidable y se intercambian fácilmente. Son utilizadas con tapas de 18 hasta 55 mm de diámetro.

El operador coloca las tapas sobre el envase y por medio del dispositivo se rosca cada tapa, roscando como 30 tapas por minuto. (EQUITEK, 2013).

Figura 6. Tapadora o roscadora manual de Tapas ERM



Fuente: <http://www.equitek.com.mx/enroscador-manual/>

2.2.2.2 Tapadora o roscadora de tapas lineal ERAL (EQUITEK). Esta máquina automática consiste de un sistema de bandas activadas por motor reductores que sujetan y guían el envase a través de todo el sistema como el colocado de la tapa y el enroscado con la velocidad requerida. El equipo es fácil acople a la banda transportadora, ideal para tapas de hasta 55mm de diámetro. Es controlado por medio de un PCL en función de los parámetros de roscado dependiendo de su presentación. El equipo tapa hasta 120 por minuto, haciendo que el proceso de roscado sea muy eficiente. (EQUITEK, 2013).

Figura 7. Tapadora o roscadora de tapas lineal ERAL



Fuente: <http://www.equitek.com.mx/tapadora-botellas/>

2.2.3 Banda transportadora. Es un equipo que sirven para el desplazamiento o transporte de materias primas como solidas o a granel a bajas o altas velocidades, está formado por una banda continua que se mueve entre dos tambores y puede estar inclinada o horizontal. Son fabricadas de tela encauchetada con tejido de algodón o cuerdas de acero, fibras sintéticas, cintas de acero laminadas.

La banda transportadora consta de los siguientes elementos:

- Del bastidor metálico construido normalmente en acero
- Un sistema de tracción
- Tambor impulsor
- Tambor tensor y el dispositivo tensor
- Rodillos de apoyo en el ramal de trabajo o ramal superior
- Dispositivo de carga o tolva de carga
- Dispositivo de descarga o tolva de descarga
- Conjunto de transmisión

Ventajas:

- Mayor capacidad
- Alta resistencia mecánica longitudinal
- Flexibilidad en la dirección longitudinal y transversal
- Menor consumo de potencia
- Costo de operación baja

- Costo de mantenimiento bajo
- Desplazar materiales alimentarios a granel o bultos

Desventaja

- Baja resistencia con material corrosivo
- Baja resistencia al desgaste y desgarre
- Poca elasticidad
- No resiste a materiales a más de 80°C

Figura 8. Banda transportadora



Fuente: <http://datateca.unad.edu.co/contenidos/211618/EXELARNING/image054.png>

2.2.3.1 *Transportadora de rodillos.* Es un dispositivo que utiliza rodillos metálicos para trasladar una gran diversidad de objetos livianos o pesados como cajas y paquetes que requieran un alto rendimiento y una pérdida de tiempo menor. Es utilizado en múltiples procesos industriales. Existen dos tipos de transportadoras de rodillos de acuerdo a su accionamiento:

Transportadora de rodillos mecánica. En este tipo de transportadoras los rodillos pueden ser accionados por medio de una banda o cadena que transmite el movimiento de un rodillo a otro. Son ideales para el transporte de objetos pesados.

Se disponen en modo descendente con una ligera inclinación, con la finalidad de que el objeto supere su propio peso y la fricción de los rodillos. Es utilizado con objetos relativamente pequeños para que alcancen velocidades bajas.

Figura 9. Transportadora de rodillos



Fuente: <http://www.dexve.es/wp-content/uploads/2014/07/5/rodillos-2g.jpg>

2.2.3.2 Transportadora de placas articuladas. Este tipo de transportadoras son adecuadas para el uso en sistemas con máquinas empaquetadoras y distribución de productos. La transportadora tiene estructura simple, alta fiabilidad, con operaciones eficientes, fácil mantenimiento, fiabilidad y durabilidad. La estructura es de acero inoxidable y de acero soldado de carbono, con placas articuladas de 5 mm de espesor. Las placas articuladas son fabricadas de chapa perforada. Su diseño proporciona al cliente una solución avanzada, razonable, económica.

Figura 10. Transportadora de placas articuladas



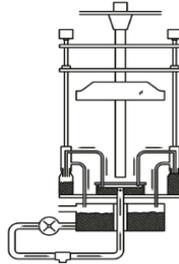
Fuente: <http://www.sunji.co/wp-content/uploads/2015/02/Cinta-transportadora-de-placas-con-cadenas.jpg>

2.3 Tipos de llenado

2.3.1 Llenado a nivel. Este tipo de llenado es adecuado para el uso con productos viscosos y espumosos como por ejemplo con líquidos de limpieza. Esta forma de llenado compensa las variaciones de volumen que hay en los envases, manteniendo y

garantizando un nivel adecuado el producto. Este sistema funciona bajo tres principios: Presión, vacío y gravedad.

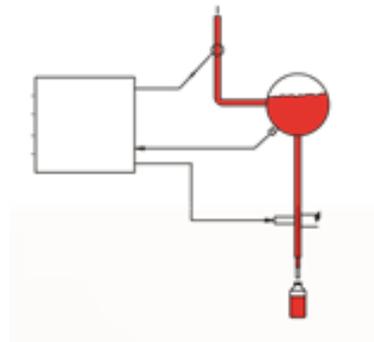
Figura 11. Llenado a nivel



Fuente: <http://www.cozzoli.com.es/images/filltolevel2.jpg>

2.3.2 Llenado a presión. Este tipo de llenado se realiza controlando cantidad de flujo de producto que pasa a través de la tubería, que por medio de una computadora se calcula el tiempo necesario para que el flujo de producto pase por la boquilla, basado en la presión del colector, diámetro y tamaño de la boquilla y el volumen a llenar en el envase.

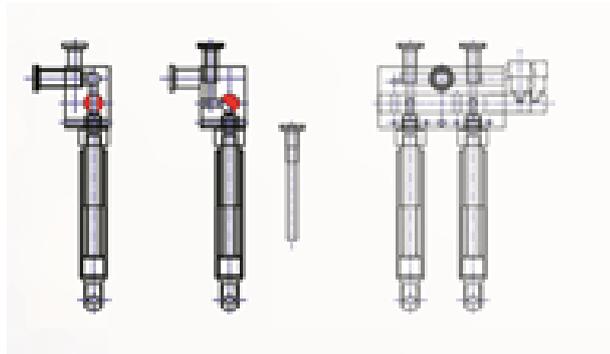
Figura 12. Llenado de presión



Fuente: <http://www.cozzoli.com.es/images/timepress2.jpg>

2.3.3 Llenado por pistón (industrial y estéril). Este tipo de llenado por pistón es utilizado con una gran variedad de productos que tengan una viscosidad de 1 a 100 000 centipoises y superior, siendo este el sistema más ideal en el proceso de llenado. Su estructura es un poco robusta y son fabricadas con una alta precisión, para que al momento de operar esta no tenga problemas.

Figura 13. Llenado por pistón (industrial y estéril)



Fuente: <http://www.cozzoli.com.es/images/piston2.jpg>

2.3.4 Llenado de pistón volumétrico. Son dispositivos automáticos que sirven para llenar líquidos o productos semi viscosos y viscosos. Son utilizados en diferentes industrias como farmacéutica, alimenticia, química, cosmética y mucho más. El llenado se realiza en forma lineal haciendo que pueda alcanzar hasta los 120 envases o botellas por minuto ya que utiliza una combinación de pistones volumétricos y un sistema de válvulas con cheque especializado, haciendo que el sistema sea el más ideal.

Figura 14. Llenado de pistón volumétrico



Fuente: http://images.locanto.com.co/Dosificadora-Maplas-Para-Viscosos-Y-Liquidos-De-50-A-1000-Ml/vap_1578287548.jpg

2.4 PLC

PLC (Programable logic controller) es un dispositivo diseñado para controlar procesos de etapa en etapa en forma secuencial, es utilizado en aplicaciones industriales. Es decir, controlan los diferentes procesos de producción que es desarrollado por una máquina.

Figura 15. Dispositivo PLC



Fuente: http://www.ferroroggi.com.ar/images/logo_siemens.gif

Los principales elementos que tiene un PLC:

- Fuente de alimentación
- Unidad de procesamiento central CPU
- Módulos de interfaces de entradas/salidas (E/S)
- Módulo de memorias
- Unidad de programación

La fuente de alimentación tiene como función suministrar energía (5V, 15V, 24 V CD) requeridos para alimentar el CPU y los módulos de entradas y salidas.

Los módulos de entradas y salidas son los que proporciona un vínculo entre la CPU, para controlar y monitorear diferentes dispositivos como sensores y actuadores, intercambiando información de datos o mando para controlar los procesos de las máquinas.

Los módulos de memorias son dispositivos que tienen la capacidad de guardar la información de manera permanente o provisional, el PLC cuenta con dos tipos de memorias: Volátiles (RAM) y no Volátiles (EPROMy EEPROM).

Las unidades de programación son medios que permiten la comunicación hombre máquina mediante dispositivos de programación visuales, hay tres tipos de programadores manuales (Hand Held) tipo de calculadora, (PC) de tipo video, y (computadora).

Las principales ventajas que ofrece el PLC son:

- Controlan sistemas complejos
- Controlan de manera fácil y rápida los diferentes sistemas
- Ocupan poco espacio
- Fácil de programar y reduce tiempos de inactividad.
- Por sus componentes confiables pueden operar varios años sin fallas
- Mínimo espacio de ocupación.
- Costo de mantenimiento bajo
- Un solo PLC pueden controlar varias máquinas con
- Menor tiempo de puesta en funcionamiento.
- Pueden trabajar en diferentes ambientes como: humedad, temperaturas altas, campos magnéticos, vibraciones.

2.5 Metodología para el diseño de la máquina envasadora y tapadora

Los aspectos fundamentales para mejorar el proceso de elaboración del yogurt en la fábrica y para el desarrollo del proyecto son: el sistema de envasado, tapado y transportación del producto, para ello se siguió la siguiente metodología:

- Analizar la necesidad o el problema que tiene actualmente la fábrica, con el objetivo de dar una solución
- Realizar un estudio del estado actual del arte de los diferentes equipos utilizados en el proceso de transporte, envasado y tapado del yogurt existente en el mercado.
- Recopilar, organizar, sintetizar y analizar la información requerida.
- Analizar las características y parámetros de los diferentes equipos y materiales que intervienen en el proceso de envasado, tapado y transporte del producto.
- Realizar el diseño del concepto y detalle para seleccionar la mejor opción de entre las diferentes alternativas, que permita solucionar la fase de envasado, tapado y transporte del producto.
- Analizar los requerimientos y características de la voz del usuario y las especificaciones técnicas de la voz del ingeniero de la matriz casa de la calidad (QFQ) con el objetivo de brindar una satisfacción al usuario.
- Analizar los diferentes módulos existentes en el sistema de transporte, envasado y tapado.
- Estudiar y analizar las diferentes soluciones, mediante el estudio de las alternativas con el fin de seleccionar la alternativa más adecuada.
- Tomar en cuenta los principales parámetros para la selección de los materiales, como las condiciones del ambiente de trabajo a la que serán expuestos los equipos.
- Para la construcción se usará el acero inoxidable, que, gracias a su elevada resistencia a la corrosión, al contener cromo y otros elementos en su composición química formando una película protectora, evitando así la disminución prematura en la vida útil de la máquina.

- El material que reúne las características adecuadas para la construcción es el acero inoxidable AISI 304, ya que cuenta con una serie de características especiales haciéndolo ideal para una gran variedad de aplicaciones en las cuales la corrosión sea un problema permanente.
- Diseñar los elementos mecánicos que serán utilizados en los diferentes procesos, con el fin de que estos resistan a las condiciones de trabajo requerida por el cliente.
- Seleccionar los diferentes equipos e instrumentos en función de los parámetros de diseño realizado a cada elemento mecánico.
- Realizar el montaje correcto de todas las piezas para que el funcionamiento de los diferentes procesos sea el adecuado.
- Los diferentes procesos: envasado, transporte y tapado son controlados mediante un PLC.
- Se realizará pruebas de funcionamiento de los diferentes equipos y dispositivos según los parámetros y características de trabajo.

La ingeniería concurrente es el enfoque sistemático para el diseño de una secuencia de procesos relacionados entre sí, considerando el ciclo de vida de los elementos, calidad, costo, requerimientos del usuario, entre otros. (Ingeniería concurrente y tecnologías de la información, 2004).

CAPÍTULO III

3. DISEÑO CONCEPTUAL

El diseño de concepto consiste en el estudio que se deberá seguir mediante un proceso planificado y ordenado, en el que se especificara las diferentes partes, características técnicas, calidad y durabilidad de los equipos que conforman el sistema de envasado, tapado y transporte del producto.

3.1 Determinación de las especificaciones del proyecto

El proyecto tiene como propósito brindar una solución a las diferentes necesidades existentes que hay en la línea de producción de yogurt que tiene la fábrica Lácteos San Francisco, ya que el método actual utilizado es manual, por lo que tiene problemas de higiene y no logra satisfacer la demanda del mercado, la fábrica se vio en la necesidad de buscar un método automático que garantice mejorar la calidad del producto y aumentar la producción.

3.1.1 Casa de la calidad o matriz QFD. La casa de calidad es una herramienta útil para la planificación, el desarrollo, la comunicación y la coordinación requerida entre los distintos sectores de la empresa, entendiendo que el principal objetivo de esta es dar satisfacción al cliente. (Enrique Villamil García, Diciembre de 2003)

Conocer cuáles son las expectativas de la voz del usuario y el producto que desea competir, para relacionar con las características de la voz del ingeniero para posteriormente elaborar la casa de la calidad como una herramienta que satisfaga al cliente.

3.1.1.1 Voz del usuario. Para el adecuado desarrollo de la matriz QFD, hay que detallar las características y requerimientos que el usuario requiere para su máquina:

- Los envases tengan el volumen correcto
- Fácil tapado del envase

- Producción de al menos 10 envases por min.
- Cumplir con estándares de calidad
- Ocupar el menor espacio
- Tamaños de envases 2
- Tapado sea correcto
- Fácil mantenimiento
- Fácil operación
- Costo del equipo bajo

3.1.1.2 *Voz del ingeniero.* Esta sección tenemos las especificaciones y requerimientos técnicos dadas por el usuario que son:

- Automatización
- Velocidad de la banda
- Tiempo de llenado
- Volumen de llenado
- Velocidad de tapado
- Tiempo en Unidades por ciclo
- Mantenimiento
- Materiales de Acero 304

- Fiabilidad
- Ergonomía
- Dimensiones del equipo
- Volumen de envases

3.1.1.3 *Análisis de la matriz QFD.* El procedimiento propuesto por Carles Riba para elaborar la matriz QFD. En la columna A se evalúa cumplimiento del producto de la empresa, en las columnas B y C en cambio se evaluado el cumplimiento del producto con otras empresas, en la columna D relación entre la demanda y los objetivos a efectuarse, en la columna E se establece el índice de mejora del producto de la empresa.

El índice de mejora:

$$\text{Índice de mejora} = \frac{\text{Objetivos}}{\text{Propia empresa}} \quad (1)$$

La ponderación:

$$\text{Ponderación} = \text{Índice de mejora} \cdot \text{factor de venta} \cdot \text{importancia} \quad (2)$$

La información captada y procesada se pondera usando una de las escalas siguientes:

- a) Criterio de la importancia absoluta: 1 a 5 (5 es lo más importante). Es la usada en el ejemplo.
- b) Importancia ponderada: 1, 3 ó 9. (9 es lo más importante).
- c) Importancia relativa: 1 a 10 (10 es lo más importante).
- d) Importancia ordinal: Jerarquizada por orden de importancia (si hay 15 necesidades del cliente, usar 1 al 15, siendo 15 la más importante).

Al evaluar la incidencia de las características técnicas para la mejora del producto se toma en cuenta las más significativas que son:

- Velocidad de la banda.
- Tiempo de llenado.
- Volumen de llenado.
- Materiales de Acero 304.
- Fiabilidad.

3.1.2 Especificaciones técnicas. Con el resultado de la matriz QFD se tienen las siguientes especificaciones técnicas de la máquina:

Tabla 2. Especificaciones técnicas

Empresa cliente: Lácteos San Francisco		Producto: Envasadora de yogurt		Fecha inicial:
Diseñador: Fernando Medina				Última versión:
				Página 1
Especificaciones				
Concepto	Fecha	Propone	R/D	Descripción
Función		D	R	Tiempo de llenado
				Velocidad de la banda transportadora
Materiales		C	R	Acero inoxidable 304
Construcción y montaje		D	R	Volumen
		C	R	Varios tamaños de envases
		D	D	Tiempo de puesta en marcha
Vida útil y mantenimiento		D	D	Confiabilidad de la máquina 90%
		D	R	Fácil mantenimiento
Energía		C	R	Energía eléctrica 110 V y 220 V

Tabla 2. (Continuación)

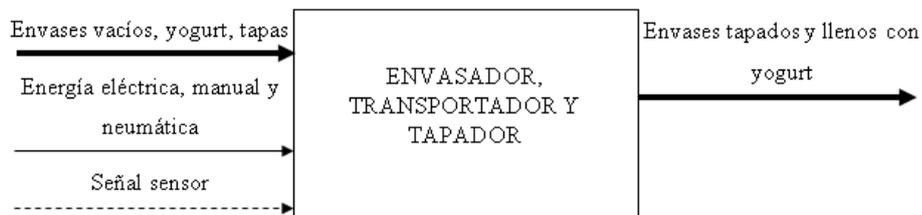
Dimensiones		C	R	Longitud máxima 3,5 m
Seguridad y ergonomía		C	R	Nivel de ruido debe ser de 60 dB.
		D	R	Ubicación de los componentes de control.
Propone: M=Márquetin, C=Cliente, D=Diseño, P=Producción, F=Fabricación.				
R/D: R=Requerimiento, D=Deseo, MR=Modificación de requerimiento.				

Fuente: Autor

3.2 Análisis funcional

El análisis funcional tiene como objetivo reducir el costo e identificar los diferentes procesos que se debe realizar para obtener el producto final. Los módulos de flujo o diagramas funcionales están formados por tres tipos de entradas y salidas como material, energía y control o señal. Cada una está según la función que desempeña cada máquina.

Figura 17. Función primaria de la máquina en conjunto



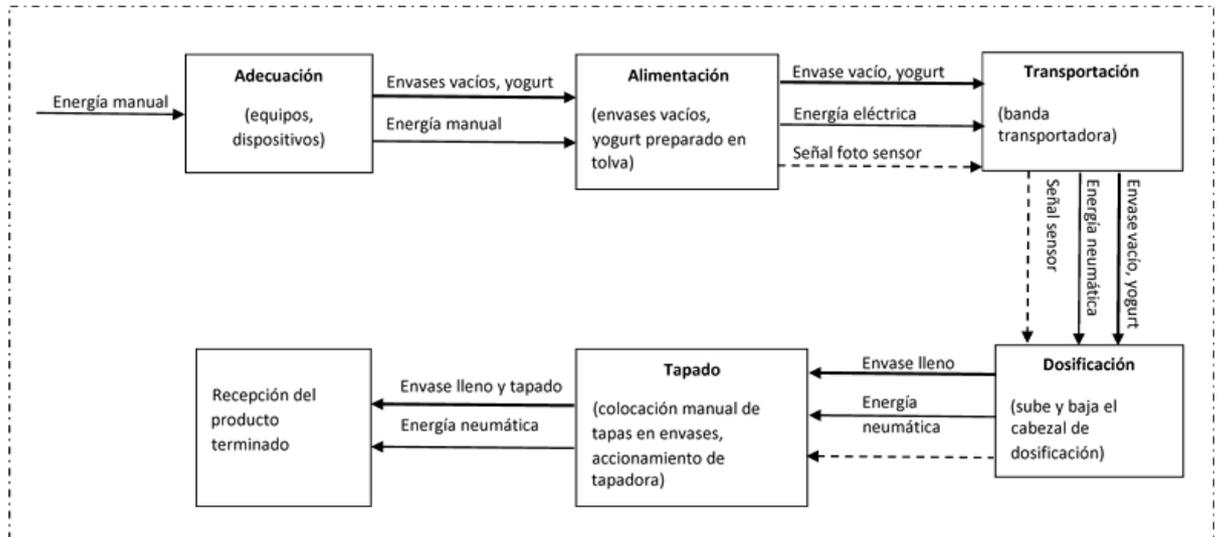
Fuente: Autor

El análisis de la función primaria está en relación a todo el conjunto en sí de la máquina que forma todo el proceso de envasado de yogurt, las entradas son envases vacíos, yogurt, energía eléctrica, energía eléctrica, manual y neumática y la señal de control para la puesta en marcha de toda la máquina.

La función secundaria está relacionada con los diferentes sistemas o procesos como: transportación, envasado y tapado; que permiten el funcionamiento de toda la máquina para llegar a tener envases tapados y llenos con yogurt.

3.2.1 Definición de módulos. El análisis modular tiene como finalidad reducir el costo y facilita una mejor comprensión de cómo funciona todo el proceso de elaboración del yogurt, debido a que existe varias funciones es mejor dividirlos en varios bloques funcionales tomando en cuenta los flujos de materia, energía y señales.

Figura 18. Definición de módulos



Fuente: Autor

3.2.2 Alternativas de solución para el módulo. El proceso de envasado se ha dividido en diferentes módulos, detallando a continuación cada una las diferentes partes o funciones a realizarse. Desde la adecuación correcta de la máquina hasta el proceso final del producto.

- Adecuación
- Alimentación
- Transportación
- Dosificación
- Roscado

3.2.2.1 *Adecuación*

- Revisar que todos los dispositivos funcionen correctamente.
- El yogurt como materia prima esté lista para el proceso de envasado.
- Los envases y tapas sean lo correctos antes de realizar el proceso de envasado.

3.2.2.2 *Alimentación*

- Colocar los envases vacíos en la banda transportadora
- Almacenar el yogurt preparado en la tolva

3.2.2.3 *Transportación.* Existen dos maneras para la transportación de los envases, las que se detallan a continuación:

Transportador lineal

Ventajas:

- Fácil adecuación según la geometría del envase.
- Mantenimiento bajo.
- Estructura de acero inoxidable AISI 304.
- Transportación a distancias grandes.

Desventajas:

- Velocidad de transporte bajo.
- Estructura poco robusta.

- No tiene tambor rotativo.

Transportador rotativo

Ventajas:

- Velocidad de rotación alta.
- Estructura de acero inoxidable AISI 304.
- Ocupa menor espacio.

Desventajas:

- Tambor rotativo para cada geometría de envase.
- Mantenimiento alto.
- Necesita como acople un transportador lineal.

3.2.2.4 Dosificación. Se tomó en consideración dos maneras de dosificación para el llenado adecuado de los envases:

Llenado por pistón volumétrico

Ventajas:

- Medida correcta de producto.
- Velocidad variable de dosificación.
- Dosificación a cierto volumen.
- Costo de equipo bajo.

- Dosificación independiente.

Desventajas:

- Mantenimiento alto.
- Estructura poco grande.
- Varios elementos de acople.
- Dosificación máxima a 6 boquillas.

Llenado a presión

Ventajas:

- Dosificación a varios volúmenes.
- Dosificación a más de 6 boquillas.
- Fácil mantenimiento.
- Estructura relativamente pequeña.

Desventajas:

- Una sola velocidad de dosificación.
- No tiene regulación de dosificación independiente.
- Costo del equipo alto.
- Tanque presurizado.

3.2.2.5 Tapado. Para el roscado y el correcto tapado de las tapas se optó por dos alternativas:

Roscador mecánico

Ventajas

- Velocidad de tapado bajo.
- Tapado adecuado.
- Mantenimiento bajo.
- Torque adecuado al roscado.

Desventajas

- Mayor cantidad de elementos.
- Costo del equipo medio alto.
- No tiene regulador de velocidad y torque de roscado.
- Necesita transmisión por bandas.

Roscado neumático

Ventajas

- Fácil acople a banda transportadora.
- Tamaño relativamente pequeño.
- Velocidad y torque regulable.

- Fácil mantenimiento.
- Costo del dispositivo bajo.

Desventajas

- Altas revoluciones de trabajo.
- Necesita la presión adecuada.

3.2.3 Alternativas de módulos. Para determinar las diferentes alternativas de módulos se ha tomado en cuenta cada una de las posibles soluciones combinándolas entre sí para cada una de las funciones establecidas teniendo en cuenta las más importantes y que sean compatibles entre sí.

Tabla 3. Combinación de soluciones para el módulo.

Función	Componente
Adecuación	<pre> graph TD A[Dispositivos eléctricos y neumáticos, materia prima (yogurt)] --> B[Alimentación manual] B --> C[Banda transportadora lineal] B --> D[Banda transportadora rotatoria] C --> E[Dosificadores por nivel] D --> F[Dosificadores por volumen] E --> G[Roscador mecánico] F --> H[Roscador neumático] C --> F </pre>
Alimentación	
Transportación de envases vacíos y llenos	
Dosificación de materia prima en envases	
Tapado	
Soluciones	Alternativa 1 Alternativa 2 Alternativa 3

Fuente: Autor

3.2.4 Evaluación de los módulos. Para determinar la alternativa más adecuada es conveniente realizar una evaluación de cada alternativa, sin tomar en cuenta parámetros

que determinen cada mecanismo, para esto se empleó el método corregido de criterios ponderados.

Criterios de valoración:

- Velocidad de banda transportadora: La banda transportadora debe tener una velocidad adecuada al momento de transportar los envases.
- Tiempo de llenado: El tiempo de dosificación del yogurt en el envase debe ser el adecuado para garantizar una producción eficiente.
- Volumen de llenado: La cantidad correcta de yogurt en el envase es muy importante.
- Fiabilidad: La vida útil de los mecanismo y dispositivos que conforman la máquina deben garantizar un correcto funcionamiento y seguridad.

A continuación, se evaluarán los criterios de valoración:

Tabla 4. Evaluación de cada criterio

Fiabilidad>Tiempo de llenado=Volumen de llenado>Mantenimiento>Velocidad de banda transportadora							
Criterio	Velocidad de banda transportadora	Tiempo de llenado	Volumen de llenado	Fiabilidad	Mantenimiento	$\Sigma+1$	Ponderación
Velocidad de banda transportadora		0,5	0,5	1	1	4	0,242
Tiempo de llenado	0,5		0,5	0	0	2	0,121
Volumen de llenado	0,5	0,5		0,5	0	2,5	0,152
Fiabilidad	1	1	1		1	5	0,303
Mantenimiento	0,5	0	0,5	1		3	0,182
					Suma	16,5	1

Fuente: Autor

A continuación, se evaluarán las alternativas de acuerdo a cada criterio establecidos anteriormente:

Tabla 5. Ponderación de la velocidad de banda transportadora

Alternativa 1=Alternativa 2 > Alternativa 3					
Velocidad de banda transportadora	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	$\Sigma+1$	Ponderación
Alternativa 1		0,5	1	2,5	0,357
Alternativa 2	0,5		1	2,5	0,357
Alternativa 3	0,5	0,5		2	0,286
			Suma	7	1

Fuente: Autor

Tabla 6. Ponderación de tiempo de llenado

Alternativa 3>Alternativa 1 = Alternativa 2					
Tiempo de llenado	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	$\Sigma+1$	Ponderación
Alternativa 1		0,5	0	1,5	0,214
Alternativa 2	1		1	3	0,429
Alternativa 3	1	0,5		2,5	0,357
			Suma	7	1

Fuente: Autor

Tabla 7. Ponderación del volumen de llenado

Alternativa 3=Alternativa 2 > Alternativa 1					
Volumen de llenado	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	$\Sigma+1$	Ponderación
Alternativa 1		0,5	0	1,5	0,231
Alternativa 2	1		0,5	2,5	0,385
Alternativa 3	1	0,5		2,5	0,385
			Suma	6,5	1

Fuente: Autor

Tabla 8. Ponderación de la fiabilidad

Alternativa 3>Alternativa 2 > Alternativa 1					
Fiabilidad	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	$\Sigma+1$	Ponderación
Alternativa 1		0	0	1	0,154
Alternativa 2	1		1	3	0,462
Alternativa 3	1	0,5		2,5	0,385
			Suma	6,5	1

Fuente: Autor

Tabla 9. Ponderación del mantenimiento

Alternativa 3=Alternativa 2 > Alternativa 1					
Mantenimiento	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	$\Sigma+1$	Ponderación
Alternativa 1		0,5	0	1,5	0,231
Alternativa 2	1		0,5	2,5	0,385
Alternativa 3	1	0,5		2,5	0,385
Suma				6,5	1

Fuente: Autor

Evaluación según la ponderación de cada alternativa y criterios ya establecidos:

Tabla 10. Selección de la alternativa mejor ponderada

Conclusión	Velocidad de banda transportadora	Tiempo de llenado	Volumen de llenado	Fiabilidad	Mantenimiento	Σ	Prioridad
Alternativa 1	0,087	0,077	0,035	0,047	0,042	0,29	3
Alternativa 2	0,087	0,153	0,058	0,140	0,070	0,51	1
Alternativa 3	0,069	0,128	0,058	0,117	0,070	0,44	2

Fuente: Autor

De acuerdo al análisis, se pudo determinar que la alternativa 2 es la que más se ajusta y satisface los criterios ya establecidos.

3.3 Características y elementos de la máquina.

Ya determinada la mejor alternativa según los requerimientos del cliente, se procede a determinar los mecanismos de accionamiento que forman parte de la máquina:

- Transportación
- Dosificación
- Roscado

3.3.1 Mecanismo de transportación. La banda transportadora consta de los siguientes mecanismos: Un motor eléctrico con un reductor de velocidades para el accionamiento del sistema.

- Una cadena de acero inoxidable AISI 304 para la transportación de los envases.
- Un par de piñones para el accionamiento de la banda transportadora.

- Dos soportes de tubo cuadrado 40x40x2mm que sostienen todo el peso de la banda transportadora.
- Dos rieles que sirven de guía para que la cadena se deslice adecuadamente.
- Guías de desgaste que son de nylon.
- Dos guías regulables según la geometría del envase.

Figura 19. Mecanismo de transportación

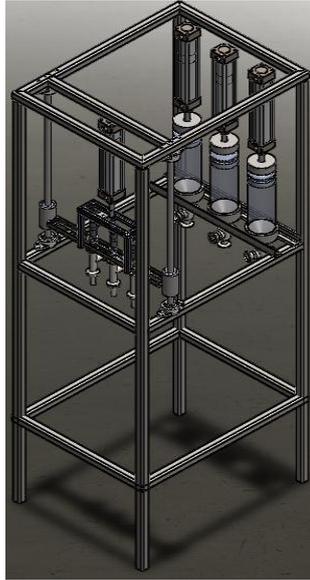


Fuente: Autor

3.3.2 Mecanismo de dosificación. La parte de dosificación consta de los siguientes mecanismos:

- Una estructura de tubo cuadrado en acero inoxidable AISI 304.
- Tres cilindros de almacenamiento para yogurt.
- Dos ejes verticales que sirven de deslizamiento del cabezal de dosificación.
- Un sistema de dosificación con tres boquillas.
- Dos bocines que sirven de guía sobre el eje vertical, para el correcto deslizamiento del cabezal de dosificación.

Figura 20. Mecanismo de dosificación

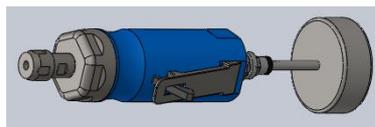


Fuente: Autor

3.3.3 Mecanismo de roscado. Este sistema consta de los siguientes elementos:

- Una boquilla en función de la geometría de la tapa.
- Un dispositivo neumático con torque y velocidad regulable.

Figura 21. Mecanismo de roscado



Fuente: Autor

CAPÍTULO IV

4. DISEÑO DE INGENIERÍA

4.1 Diseño, selección y construcción.

Para el adecuado diseño de la máquina envasadora hay tomar en consideración los requerimientos y necesidades del usuario, con el fin de determinar los diferentes elementos que formaran parte de la máquina para realizar su diseño, selección y construcción de las mismas.

4.2 Diseño del sistema de transporte

Figura 22. Sistema de transporte



Fuente: Autor

4.2.1 Banda transportadora. La selección y diseño de la banda transportadora es necesario que cumpla con las siguientes especificaciones:

- Ancho del envase es de 80 mm, necesario para seleccionar el ancho de la cadena.

- Longitud a transportar el producto de 2,80 m.
- El producto a envasar es yogurt, dato necesario para seleccionar el material de la cadena a utilizar en la banda transportadora.
- Trayectoria del producto a transporta, rectilínea.

4.2.1.1 Selección de la cadena para la banda transportadora. El producto a transportar es un poco corrosivo por lo que es necesario seleccionar una cadena de acero inoxidable austenítico AISI 304.

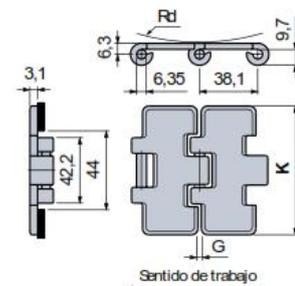
Figura 23. Especificaciones técnicas de banda transportadora

Rex - OPTI-Plus® = Capacidad de carga superior en un 40%. Acabado especial



Recorridos rectilíneos: Bisagra única. Paso 38,1 mm (inch 1 1/2")

Código Rexnord Nr.	Rugosidad μm	Material placa	Anchura K mm	Juego placas G mm	Radio min. Rd mm	Peso kg/m	
S815-K325*	0,6	Acero al carbón tratamiento térmico	82,5	1,8	150	2,6	
S815-K450			114,3			3,3	
S815-K750			190,5			5,1	
SS812-K325	0,6	Acero inox ferrítico AISI 430	82,5	2,8	75	2,6	
SSR812-K325	0,5	Rex - OPTI-Plus ®	82,5	2,8	75	2,6	
SSX812-K325	0,3		82,5			2,6	
SSY812-K350	0,3		88,9			2,7	
SSC812-K250	0,5			63,5	1,6	150	2,4
SSC812-K263*				66,8			2,4
SSC812-K300*				76,2			2,5
SSC812-K325				82,5			2,6
SSC812-K330*				83,8			2,6
SSC812-K350				88,9			2,7
SSC812-K400				101,6			3,0
SSC812-K450				114,3			3,3
SSC812-K600				152,4			4,2
SSC812-K750				190,5			5,1
SS815-K325*	0,5	Acero inox austenítico AISI 304 (18/8)	82,5	1,6	150	2,6	
SS815-K400*			101,6			3,0	
SS815-K450*			114,3			3,3	
SS815-K600*			152,4			4,2	
SS815-K750*			190,5			5,1	



* = Bajo pedido para cantidad adecuada.
 Material del perno de la cadena S 815: acero endurecido
 Material del perno de la cadena SS 815: acero inox AISI 304.
 Material del perno para todas las otras cadenas: acero inox AISI 431.
Paquete: 60 pasos (3,048 m).

Véase pág. 63/64/65 

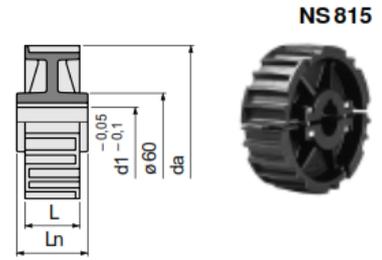
Fuente: Catálogo REXNORD

4.2.1.2 Selección del piñón motriz. En el mismo catalogo selecciono el piñón motriz de acuerdo al número de pasos que tiene la cadena transportadora.

Figura 24. Selección del piñón motriz

Piñones de tracción: En dos mitades, en poliamida reforzada PAFV (negra)

Código REXNORD Nr.	Nr. dientes Z Reales Efectivos	ϕ primitivo d mm	ϕ externo da mm	ϕ orificio acabado con alojamiento lengüeta d1	L mm	Ln mm	Peso kg
Orificio (mm)							
NS 815 T21 R...	21	10,5	129,26	129,5	25 30 35 40 45	52 51	0,47
NS 815 T23 R...	23	11,5	141,22	142	25 30 35 40 45	52 51	0,55
NS 815 T25 R...	25	12,5	153,21	154,2	25 30 35 40 45	54 58,5	0,60
Orificio (Inch)							
NS 815 T21 R...*	21	10,5	129,26	129,5	1" 11/4" 2"	52 51	0,47
NS 815 T23 R...	23	11,5	141,22	142	1" 11/4" 1 1/2" 1 3/4" 2"	52 51	0,55
NS 815 T25 R...	25	12,5	153,21	154,2	1" 11/4" 1 1/2" 2"	54 58,5	0,60



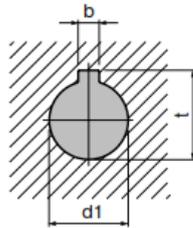
* = Bajo pedido para cantidad adecuada.
Tornillería: tornillos de acero inox AISI 304, tuercas de latón niquelado.

Alojamiento lengüeta: UNI 6604-69. Véase pág. 101.
Par máximo de apriete aconsejado: 1 kgm.

Fuente: Catalogo REXNORD

Las dimensiones del cuñero, se obtienen del mismo catálogo:

Figura 25. Dimensiones del cuñero



d1 mm	b mm		t mm	
	nom.	toll.	nom.	toll.
25	8	+ 0,036 0	28,3	+ 0,2 0
30	8		33,3	
35	10		38,3	
40	12	43,3		
45	14	+ 0,043 0	48,8	
50	14		53,8	
60	18		64,4	

Tabla 3- Dimensiones del cuñero para las flechas con diámetros métricos (UNI 6604 - 69 / ISO 773)

Fuente: Catalogo REXNORD

4.2.2 Cálculo de la potencia necesaria. El cálculo de la potencia necesaria para mover la cadena está determinado por los siguientes factores:

- Peso del producto
- Peso de la cadena
- Velocidad de transporte

4.2.2.1 Cálculo de la fuerza por aceleración.

$$F_{acc} = (m_{total\ cad} + m_{total\ prod})a$$

$$F_{acc} = (m_{total\ cad} + m_{total\ prod}) \frac{V_{max}}{t} \quad (3)$$

Dónde:

$m_{total\ cad}$ = masa total de la cadena en 5,7 m = 14,82 kg. (Figura 23. Especificaciones técnicas de banda transportadora).

$m_{total\ prod}$ = masa total del producto en 2m = 40 kg.

V_{max} = velocidad de la cadena recomendada = 1,166 m/s (ANEXO A).

t = tiempo de estabilización del sistema = 10 segundos.

Reemplazando

$$F_{acc} = (14,82\text{ kg} + 40\text{ kg}) \frac{1,166\text{ m/s}}{10\text{ seg.}}$$

$$F_{acc} = 6,4\text{ N.}$$

4.2.2.2 Cálculo de la fuerza por fricción.

$$F_{fric} = \mu N$$

$$N = W_{cad} + W_{prod}$$

$$F_{fric} = \mu(W_{cad} + W_{prod}) \quad (4)$$

Dónde:

μ = coeficiente de rozamiento de la cadena=0,5 (Figura 23. Especificaciones técnicas de banda transportadora).

W_{cad} = peso de la cadena en 2,85m = 72,62 N (Figura 23. Especificaciones técnicas de banda transportadora).

W_{prod} = peso del producto = 392 N.

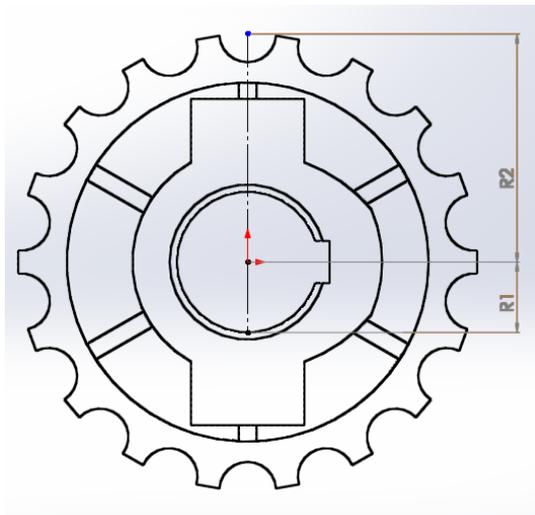
Reemplazando:

$$F_{fric} = 0,5(72,62 \text{ N} + 392 \text{ N})$$

$$F_{fric} = 232,31 \text{ N}$$

4.2.2.3 Cálculo del momento de inercia del piñón

Figura 26. Piñón



Fuente: Autor

$$I_{piñ} = \frac{1}{2} m_{piñ} (R_1 + R_2) \quad (5)$$

Dónde:

$m_{\text{piñ}} = \text{masa del piñón} = 0,47 \text{ kg}$. (Figura 24. Selección del piñón motriz).

$R_1 = \text{radio interno del piñón} = 0,02\text{m}$.

$R_2 = \text{radio externo del piñón} = 0,06475\text{m}$.

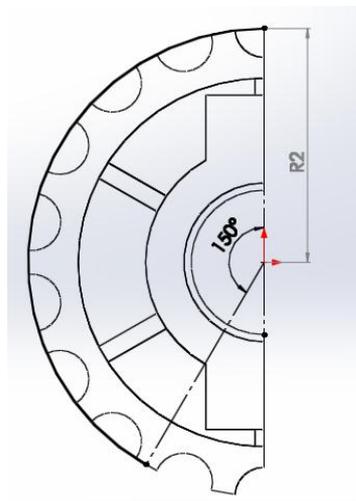
Reemplazando:

$$I_{\text{piñ}} = \frac{1}{2} (0,47 \text{ kg})(0,02\text{m} + 0,06475\text{m})$$

$$I_{\text{piñ}} = 0,00108 \text{ kg/m}^2$$

4.2.2.4 Cálculo del perímetro en contacto piñón cadena

Figura 27. Perfil contacto piñón cadena



Fuente: Autor

$$P_{\text{piñ}} = \theta R_2 \tag{6}$$

Dónde:

$\theta = \text{ángulo de contacto entre piñón y cadena en radianes}$.

$R_2 =$ radio externo del piñón = 0,06475m.

Reemplazando:

$$P_{piñ} = 150^{\circ} \left(\frac{\pi \text{ rad.}}{180^{\circ}} \right) (0,06475m)$$

$$P_{piñ} = 0,17m$$

4.2.2.5 Cálculo de la masa de la cadena en contacto con el piñón

$$m_{cad} = 2 m_{cad\ 1} \times P_{piñ} \quad (7)$$

Dónde:

$m_{cad\ 1} =$ masa de la cadena = 2,6 kg/m.

Reemplazando:

$$m_{cad} = 2(2,6 \text{ kg/m})(0,17m)$$

$$m_{cad} = 0,884 \text{ kg}$$

4.2.2.6 Cálculo del momento de inercia de la cadena

$$I_{cad} = m_{cad} R_2^2 \quad (8)$$

$m_{cad} =$ masa de la cadena en contacto con el piñón en kg.

$R_2 =$ radio externo del piñón = 0,06475m.

Reemplazando:

$$I_{cad} = (0,884 \text{ kg})(0,06475m)^2$$

$$I_{cad} = 0,0037 \text{ kg/m}^2$$

4.2.2.7 Cálculo de la velocidad angular

$$\omega_{max} = \frac{V_{max}}{R_2} \quad (9)$$

Dónde:

V_{max} = velocidad de la cadena recomendada = 1,166 m/s.

R_2 = radio externo del piñón = 0,06475m.

Reemplazando:

$$\omega_{max} = \frac{1,166 \text{ m/s}}{0,06475\text{m}}$$

$$\omega_{max} = 18,01\text{rad/s}$$

4.2.2.8 Cálculo de la aceleración angular

$$\alpha = \frac{V}{t R_2} \quad (10)$$

Dónde:

V_{max} = velocidad de la cadena recomendada = 1,166 m/s.

t = tiempo de estabilización del sistema = 10 segundos.

R_2 = radio externo del rodillo = 0,06475m.

Reemplazando:

$$\alpha = \frac{1,166 \text{ m/s}}{(10 \text{ seg})(0,06475\text{m})}$$

$$\alpha = 1,8 \text{ rad/s}^2$$

4.2.2.9 Cálculo del toque por aceleración.

$$T_{acc} = (2 I_{piñ} + I_{cad})\alpha \quad (11)$$

Dónde:

$I_{piñ}$ = momento de inercia del piñón en $0,00108 \text{ kg/m}^2$.

I_{cad} = momento de inercia de la cadena en $0,0037 \text{ kg/m}^2$.

Reemplazando:

$$T_{acc} = \left(2 \times 0,00108 \text{ kg/m}^2 + 0,0037 \text{ kg/m}^2 \right) 1,8 \text{ rad/s}^2$$

$$T_{acc} = 0,001 \text{ Nm}$$

La potencia necesaria en condiciones normales de trabajo está determinada por la siguiente ecuación:

$$P_{max} = (F_{acc} + F_{fric} + F_{ele})V_{max} + (T_{acc} + T_{fric} + T_{ele})\omega_{max} \quad (12)$$

Dónde:

F_{acc} = Fuerza por aceleración = 6,4 N.

F_{fric} = Fuerza por fricción = 232,31 N.

F_{ele} = Fuerza de elevación = 0 N.

V_{max} = Velocidad de cadena = 1,166 m/s.

T_{acc} = Torque por aceleración = 0,001 Nm.

T_{fric} = Torque por fricción = 0 N m.

T_{ele} = Torque por elevación = 0 N m.

ω_{max} = Velocidad angular del transportador = 18,01 rad/s

Reemplazando:

$$P_{max} = (6,4 \text{ N} + 232,31 \text{ N} + 0)1,166 \text{ m/s.} + (0,001 \text{ Nm} + 0 + 0)18,01 \text{ rad/s}$$

$$P_{max} = 278,36 \text{ W}$$

$$P_{max} = 0,373 \text{ HP}$$

4.2.2.10 Cálculo de la potencia eléctrica.

$$P_{elec} = \frac{P_{max}}{0,95} \quad (13)$$

$$P_{elec} = \frac{0,373 \text{ HP}}{0,95}$$

$$P_{elec} = 0.392 \text{ HP}$$

Selecciono un motor Weq IV polos trifásica de 0,5 HP, con una velocidad angular 1680 rpm

Figura 28. Motor trifásico Weq



W22 - IE2 High Efficiency - 60 Hz

Potencia		Carcasa	Par nominal (kgfm)	Corriente con rotor trabado I _l /I _n	Par con rotor trabado T _l /T _n	Par máximo T _b /T _n	Momento de inercia J (kgm ²)	Tiempo máximo con rotor trabado (s)		Peso (kg)	Nivel de ruido dB(A)	220 V							
								Caliente	Frio			RPM	% de la potencia nominal			Corriente nominal I _n (A)			
KW	HP	Rendimiento			Factor de potencia														
		50	75	100	50	75	100												
IV Polos																			
0,12	0,16	63	0,068	4,6	2,5	3,1	0,0004	37	81	6,2	48	1715	53,0	60,0	64,0	0,44	0,55	0,64	0,769
0,18	0,25	63	0,103	4,7	2,4	2,9	0,0006	30	66	7,2	48	1705	57,0	64,0	68,0	0,47	0,59	0,68	1,02
0,25	0,33	63	0,143	5,0	2,6	3	0,0007	25	55	8,2	48	1705	62,0	68,0	70,0	0,47	0,60	0,69	1,36
0,37	0,5	71	0,215	4,6	2,4	2,5	0,0007	35	77	8,0	47	1680	68,0	71,0	72,0	0,50	0,63	0,72	1,87
0,55	0,75	71	0,319	5,1	2,9	2,9	0,0008	31	68	11,5	47	1680	71,0	74,5	75,5	0,50	0,63	0,72	2,66
0,75	1	80	0,425	7,3	2,8	3	0,0029	16	35	13,5	48	1720	79,0	82,0	82,6	0,61	0,72	0,80	2,98

Fuente: Catalogo Motores Weq

4.2.2.11 *Especificaciones técnicas de la caja reductora.* Se seleccionó una caja reductora marca Varvel modelo SRT de tornillo sin fin.

Figura 29. Caja reductora Varvel modelo SRT



Fuente: Catalogo Rossi motorreductores

La relación de transmisión que tiene la caja reductora es de 40.

La velocidad de la banda transportadora se modifica:

$$\omega_{salida} = \frac{\omega_{entrada}}{i} \tag{14}$$

$$\omega_{entrada} = 1680 \text{ rpm}$$

$$i = 40$$

$$\omega_{salida} = \frac{1680 \text{ rpm}}{40}$$

$$\omega_{salida} = 42 \text{ rpm}$$

$$\omega_{salida} = 4,4 \text{ rad/s}$$

$$\omega_{salida} = \frac{V_{banda}}{R_2}$$

$$V_{banda} = \omega_{salida} \times R_2 \quad (15)$$

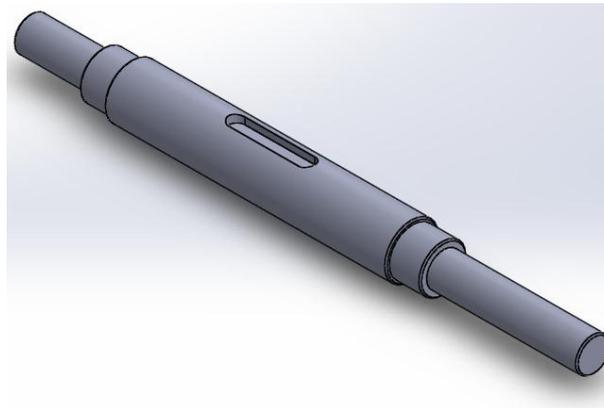
R_2 = radio externo del rodillo = 0,06475m.

$$V_{banda} = 4,4 \frac{\text{rad}}{\text{s}} \times 0,06475\text{m}$$

$$V_{banda} = 0,285 \frac{\text{m}}{\text{s}} = 28,5 \frac{\text{cm}}{\text{s}}$$

4.2.3 Diseño del eje. Para determinar el diámetro y el coeficiente de seguridad que debe tener el eje, hay que tomar en cuenta la fuerza para impulsar la banda transportadora y el torque producido por la rotación del motor reductor.

Figura 30. Eje motriz



Fuente: Autor

4.2.3.1 Cálculo de la fuerza

$$F = F_{acc} + F_{fric} \quad (16)$$

Dónde:

F_{acc} = Fuerza por aceleración = 6,4 N.

F_{fric} = Fuerza por fricción = 232,31 N.

$$F = 6,4 N + 232,31 N$$

$$F = 238,71 N.$$

4.2.3.2 Cálculo del torque

$$T = \frac{P}{\omega} \quad (17)$$

Dónde:

T= Torque Nm.

P= Potencia del motor 373 W.

ω = Velocidad angular del transportador = 4,4 rad/s.

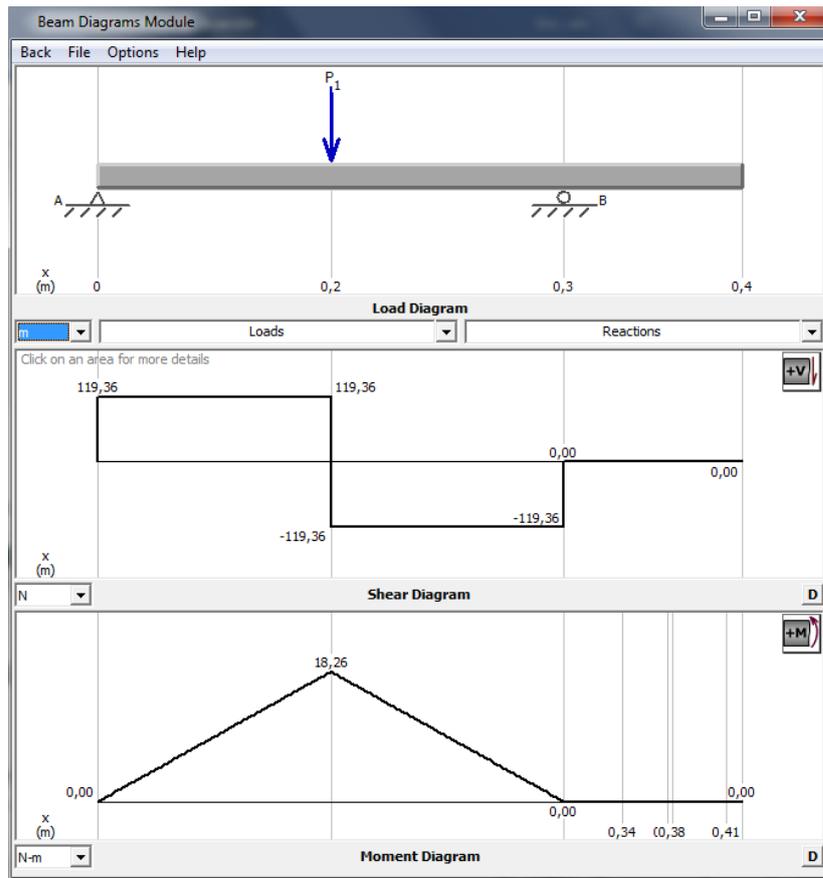
$$T = \frac{373 W}{4,4 rad/s}$$

$$T = 84,77 Nm.$$

Con ayuda del software MDSolid 4.0 encontramos el diagrama de fuerza cortante y el diagrama de momentos para el eje.

$$F=P_1=238,71 N$$

Figura 31. Diagrama de cortante y momento



Fuente: Autor

$$R_1 = 119,36 \text{ N}$$

$$M = 18,26 \text{ Nm}$$

4.2.3.3 Diseño estático. El eje se encuentra sometido a esfuerzos por flexión y torsión, por lo que para estimar el diámetro que debe tener el eje se puede aplicar el criterio ED-Goodman.

Para calcular el diámetro del eje se utiliza la siguiente ecuación:

$$d = \left\{ \frac{16}{\pi} \eta \left[\frac{1}{S_e} \left[(4K_f M_a)^2 + 3(K_{f_s} \tau_a)^2 \right]^{1/2} + \frac{1}{S_{ut}} \left[(4K_f M_m)^2 + 3(K_{f_s} \tau_m)^2 \right]^{1/2} \right] \right\}^{1/3} \quad (18)$$

Dónde:

d = diametro del eje en m.

η = factor de seguridad = 2.

K_f = factor de concentración de esfuerzos por fatiga de la flexión = 1,7 (ANEXO B).

K_{fs} = factor de concentración de esfuerzos por fatiga de la torsión = 1,5 (ANEXO B).

M_a = momento flexionante alternante = 18,26 Nm.

τ_a = par de torsión alternante = 0.

M_m = momento flexionante medio = 0.

τ_m = par de torsión alternante medio = 84,77 Nm.

S_{ut} = resistencia a la tensión = 568 MPa Acero Inoxidable 304 (ANEXO C).

Se = límite de resistencia a la fatiga.

$$Se = Se'K \quad (19)$$

Dónde:

K = factores que modifican el límite de resistencia a la fatiga = 0,4 (asumido).

Se' = límite de resistencia a la fatiga en viga giratoria.

$Se' = 0,5 S_{ut}$ (ANEXO E).

$$Se' = 0,5 (568MPa)$$

$$Se' = 284 MPa$$

$$Se = 284 \text{ MPa}(0,4)$$

$$Se = 113,6 \text{ MPa}$$

Reemplazando todo en la ecuación:

$$d = \left\{ \frac{16}{\pi} 2 \left[\frac{1}{113,6 \text{ MPa}} [(4x1,7x18,26Nm)^2 + 3(1,5x0)^2]^{1/2} + \frac{1}{568 \text{ MPa}} [(4x1,7x0)^2 + 3(1,5x84,77 Nm)^2]^{1/2} \right] \right\}^{1/3}$$

$$d = 0,0247 \text{ m}$$

Selecciono un diámetro estándar para el eje que será de 0,0254 m o 1 pulg.

4.2.3.4 Diseño a fatiga. Determinamos el coeficiente de seguridad que tendrá el eje con un diámetro de 0,0254 m, considerando los factores que modifican el límite de resistencia a la fatiga, para ello se utilizara la siguiente ecuación:

$$K = K_a K_b K_c K_d K_e \quad (20)$$

Dónde:

K_a = factor de modificación de la condición superficial.

K_b = factor de modificación del tamaño.

K_c = factor de modificación de la carga.

K_d = factor de modificación de la temperatura.

K_e = factor de confiabilidad.

Para determinar el factor K_a , el acabado superficial es maquinado.

$$K_a = aSut^b \text{ (ANEXO F)} \quad (21)$$

$$a = 4,51$$

$$b = -0,265$$

$$K_a = 4,51(568MPa)^{-0.265}$$

$$K_a = 0,84$$

Para determinar el factor K_b , el eje es rotatorio y está sometido a flexión y torsión.

$$K_b = 1,24 d^{-0.107} \text{ (¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.)} \quad (22)$$

$$K_b = 1,24 (25,4)^{-0.107}$$

$$K_b = 0,877$$

$K_c = 1$ flexión (¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.)

$K_{c_s} = 0,58$ torsión

Para una temperatura de $20^{\circ}C$ el valor de $K_d = 1$ (ANEXO F)

Para una confiabilidad del 90% $K_e = 0,897$ (ANEXO F)

El factor K_f esta determinado por la concentración de esfuerzos por flexión y torsión debidos por la sensibilidad a la muesca.

$$K_f = 1 + q(K_t - 1) \quad (23)$$

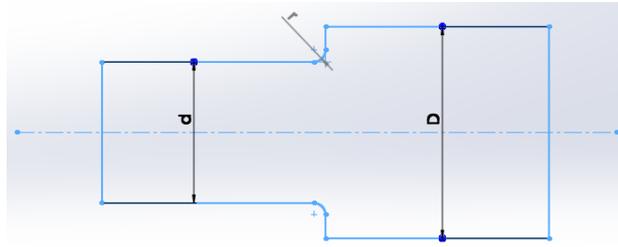
Dónde:

q = Sensibilidad a la muesca.

K_t =factor de concentración de esfuerzos.

Determinamos el radio de la muesca para encontrar la sensibilidad de la muesca:

Figura 32. Radio de la muesca



Fuente: Autor

$$D = 38,1 \text{ mm}$$

$$d = 25,4 \text{ mm}$$

$$r = \frac{\frac{D-d}{2}}{3} \tag{24}$$

$$r = \frac{\frac{38,1 \text{ mm} - 25,4 \text{ mm}}{2}}{3}$$

$$r = 2,11 \text{ mm}$$

$$q = 0,7 \text{ flexión (ANEXO F).}$$

$$q = 0,92 \text{ torsión.}$$

$$K_t = 1,5 \text{ torsión (ANEXO F).}$$

$$K_t = 1,75 \text{ flexión.}$$

El valor de K_f para flexión y torsión es:

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

$$K_f = 1 + 0,7(1,75 - 1)$$

$$K_f = 1,525 \text{ flexión}$$

$$K_f = 1 + 0,92(1,5 - 1)$$

$$K_{f_s} = 1,46 \text{ torsión}$$

Cálculo del valor de K factores que modifican el límite de resistencia a la fatiga.

$$K = K_a K_b K_c K_d K_e$$

$$K = 0,84 \times 0,877 \times 1 \times 1 \times 0,897$$

$$K = 0,66 \text{ flexión}$$

$$K = K_a K_b K_{c_s} K_d K_e$$

$$K = 0,84 \times 0,877 \times 0,58 \times 1 \times 0,897$$

$$K = 0,38 \text{ torsión}$$

Determinamos el valor de Se límite de resistencia a la fatiga, tomamos el valor máximo de $k=0,66$.

$$Se = Se' K \tag{25}$$

$$Se' = 0,5 Sut$$

$$Se = 0,5 Sut K$$

$$Se = 0,5 (568MPa)(0,66)$$

$$Se = 187,44 MPa$$

Cálculo del factor de seguridad mediante la combinación de la teoría de distorsión y la falla por fatiga usando el criterio de Goodman.

$$\frac{1}{\eta} = \frac{\sigma_a'}{Se} + \frac{\sigma_m'}{Sut} \quad (26)$$

$$\sigma_a' = \sqrt{\sigma_a^2 + 3\tau_a^2} = \sqrt{\left(\frac{32K_f M_a}{\pi d^3}\right)^2 + 3\left(\frac{16K_{fs} \tau_a}{\pi d^3}\right)^2} \quad (27)$$

$$\sigma_a' = \sqrt{\left(\frac{32 \times 1,525 \times 18,26 \text{ Nm}}{\pi (0,0254 \text{ m})^3}\right)^2 + 3\left(\frac{16 \times 1,46 \times 0}{\pi (0,0254 \text{ m})^3}\right)^2}$$

$$\sigma_a' = 17,31 \text{ MPa}$$

$$\sigma_m' = \sqrt{\sigma_m^2 + 3\tau_m^2} = \sqrt{\left(\frac{32K_f M_m}{\pi d^3}\right)^2 + 3\left(\frac{16K_{fs} \tau_m}{\pi d^3}\right)^2} \quad (28)$$

$$\sigma_m' = \sqrt{\left(\frac{32 \times 1,525 \times 0}{\pi (0,0254 \text{ m})^3}\right)^2 + 3\left(\frac{16 \times 1,46 \times 84,77}{\pi (0,0254 \text{ m})^3}\right)^2}$$

$$\sigma_m' = 66,62 \text{ MPa}$$

$$\frac{1}{\eta} = \frac{\sigma_a'}{Se} + \frac{\sigma_m'}{Sut}$$

$$\frac{1}{\eta} = \frac{17,31 \text{ MPa}}{187,44 \text{ MPa}} + \frac{66,62 \text{ MPa}}{568 \text{ MPa}}$$

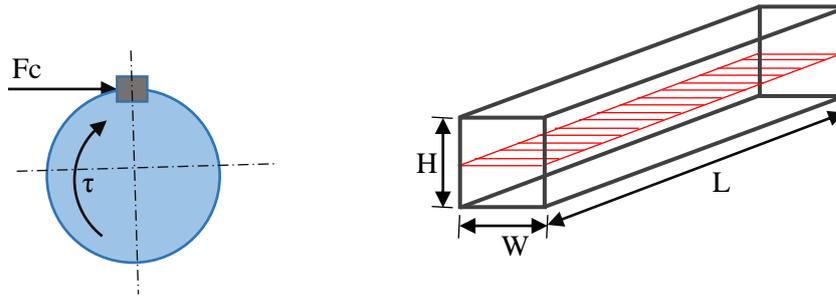
$$\eta = 4,77$$

4.2.4 Diseño de chaveta. La chaveta es utilizada para fijar elementos que se encuentran en rotación, por lo que es necesario hacer el diseño a corte y aplastamiento.

La chaveta es de Acero AISI 1020 y tiene una geometría rectangular.

$S_y = 210 \text{ MPa}$ (ANEXO G).

Figura 33. Geometría de la chaveta a corte



Fuente: Autor

$$F_c = \frac{2\tau}{D} \quad (29)$$

Dónde:

F_c = Fuerza de corte

τ = par de torsión 84,77 Nm.

D = diámetro del eje 0,0254 m.

$$F_c = \frac{2(84,77 \text{ Nm})}{0,0254 \text{ m}}$$

$$F_c = 6674,8 \text{ N.}$$

4.2.4.1 Diseño a corte:

$$\sqrt{\sigma^2 + 4\tau^2} = \frac{Sy}{\eta} \quad (30)$$

El esfuerzo σ es cero

$$\tau_c = \frac{Sy}{2\eta} \quad (31)$$

$$\tau_c = \frac{Fc}{Ac} \quad (32)$$

Combinando las ecuaciones:

$$\frac{S_y}{2\eta} = \frac{F_c}{A_c} = \frac{F_c}{WL} \quad (33)$$

$$L = \frac{2 \eta F_c}{W S_y}$$

Dónde:

A_c = El área de corte.

η = factor de seguridad de la chaveta asumido 2.

S_y = resistencia a la fluencia 210 MPa

F_c = fuerza de corte 6674,8 N.

W = ancho de la chaveta en m. Se recomienda que $W = \frac{D}{4} = \frac{0,0254 \text{ m}}{4} = 0,006 \text{ m}$.

L = longitud de la chaveta en m.

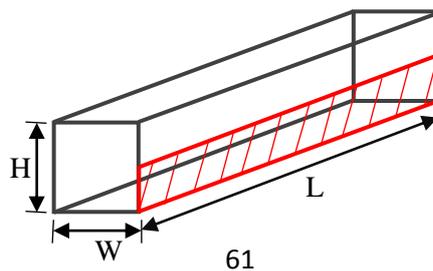
$$L = \frac{2 \times 2 \times 6674,8 \text{ N}}{0,006 \times 210 \text{ MPa}}$$

$$L = 0,021 \text{ m}$$

La longitud mínima a corte de la chaveta es de 0,021 m.

4.2.4.2 Diseño a aplastamiento:

Figura 34. Geometría de la chaveta a compresión



Fuente: Autor

$$\sqrt{\sigma^2 + 4\tau^2} = \frac{Sy}{\eta} \quad (34)$$

El par de torsión es cero.

$$\sigma_{comp} = \frac{Sy}{\eta} \quad (35)$$

$$\sigma_{comp} = \frac{Fc}{A_{comp}} = \frac{Fc}{L \frac{H}{2}}$$

$$L = \frac{\eta Fc}{\frac{H}{2} Sy} \quad (36)$$

Dónde:

σ_{comp} = esfuerzo a compresión

L = longitud de la chaveta en m.

η = factor de seguridad de la chaveta asumido 2.

Sy = resistencia a la fluencia 210 MPa.

Fc = fuerza de corte 6674,8 N.

H = altura de la chaveta en m. $H=W=0,006$ m.

$$L = \frac{2(6674,8 \text{ NN})}{\frac{0,006 \text{ m}}{2} 210 \text{ MPa}}$$

$$L = 0,021 \text{ m.}$$

La longitud mínima a compresión de la chaveta es de 0,021 m.

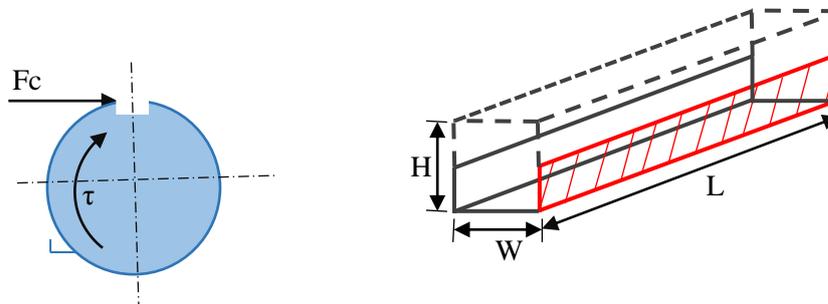
4.2.5 Diseño de chavetero. El chavetero es utilizado para fijar la chaveta y los elementos que se encuentran en rotación, está sometido a esfuerzo de compresión por lo que es necesario hacer solo el diseño a aplastamiento.

El chavetero Acero Inoxidable 304 (ANEXO C) y tiene una geometría rectangular.

S_y = resistencia a la fluencia = 276 MPa

4.2.5.1 Diseño a aplastamiento:

Figura 35. Geometría de la chaveta a compresión



Fuente: Autor

$$\sqrt{\sigma^2 + 4\tau^2} = \frac{S_y}{\eta} \quad (37)$$

El par de torsión es cero.

$$\sigma_{comp} = \frac{S_y}{\eta} \quad (38)$$

$$\sigma_{comp} = \frac{Fc}{A_{comp}} = \frac{Fc}{L \frac{H}{2}}$$

$$L = \frac{\eta Fc}{\frac{H}{2} S_y} \quad (39)$$

Dónde:

σ_{comp} = esfuerzo a compresión.

L = longitud del chavetero en m.

η = factor de seguridad de la chaveta asumido 2.

S_y = resistencia a la fluencia 276 MPa.

F_c = fuerza de corte 6674,8 N.

H = altura de la chaveta en m. $H=W=0,006\text{ m}$

$$L = \frac{2(6674,8\text{ NN})}{\frac{0,006\text{ m}}{2} 276\text{ MPa}}$$

$$L = 0,016\text{ m.}$$

La longitud mínima a compresión del chavetero es de 0,016 m.

Se debe tomar una longitud mayor a la mínima. Por lo que la chaveta y el chavetero tienen una longitud de 3cm.

4.2.6 Chumaceras. Para la selección adecuada de la chumacera se considera el diámetro y las fuerzas que actúan sobre el eje.

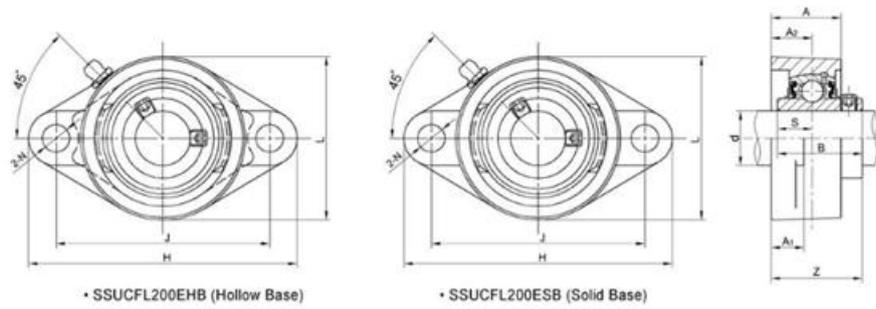
$$D = 0,00254\text{ m}$$

De la figura diagrama de fuerzas diagrama de cortante y momento tomamos el valor de la reacción en el punto A.

$$P = 119,35\text{ N.}$$

La chumacera debe ser de acero inoxidable por lo que se seleccionó una del catálogo LDK.

Figura 36. Chumacera LDK



SSUCFL 200EHB SSUCFL 200ESB Series

Unit No.		Shaft Dia		Dimension(mm)										Bolt Size (mm)	Weight (kg)
Hollow Base Housing	Solid Base Housing	d		H	J	A ₂	A ₁	A	N	L	Z	B	S		
		(in)	(mm)												
SSUCFL204EHB 204-12EHB	SSUCFL204ESB 204-12ESB	3/4	20	113	90	15	11.5	27	10.5	60	33.3	31	12.7	M8	0.50
SSUCFL205EHB 205-14EHB 205-15EHB 205-16EHB	SSUCFL205ESB 205-14ESB 205-15ESB 205-16ESB	7/8 15/16 1	25	130	99	16	13	28	12.5	68	35.8	34.1	14.3	M10	0.69

Fuente: Catalogo LDK

Selecciono la chumacera SSUCFL205 – 16ESB

4.2.6.1 Caso sin carga.

$$Pr_{cal0} = f_d P \quad (40)$$

Dónde:

P_{cal0} = carga dinámica equivalente

f_d = factor de esfuerzos sin carga 1,1 (ANEXO I)

P = reacción en el punto A

$$Pr_0 = 1,1(119,35N)$$

$$Pr_{cal0} = 131,285 N$$

Cálculo de la capacidad de carga dinámica de la chumacera sin carga.

$$Cr_{cal0} = \frac{f_h}{f_n} Pr_{cal0} \quad (41)$$

Dónde:

Cr_{cal_0} = capacidad de carga dinámica

P_{cal_0} = carga dinámica equivalente

f_h = factor de vida útil

f_n = factor de velocidad

Para 6000 horas en 5 años $f_h = 2,3$ (ANEXO I)

Para 107,5 rpm $f_n = 0,71$ (ANEXO I)

$$Cr_{cal_0} = \frac{2,3}{0,71} 131,285 N$$

$$Cr_{cal_0} = 425,28 N$$

4.2.6.2 Caso con carga.

$$Pr_{cal} = f_d P \quad (42)$$

Dónde:

Pr_{cal} = carga dinámica equivalente

f_d = factor de esfuerzos con carga 1,5 (ANEXO I)

P = reacción en el punto A

$$Pr_0 = 1,5(119,35N)$$

$$Pr_{cal_0} = 179,025 N$$

Cálculo de la capacidad de carga dinámica de la chumacera con carga.

$$Cr_{cal} = \frac{f_h}{f_n} Pr_{cal} \quad (43)$$

Dónde:

Cr_{cal} = capacidad de carga dinámica.

Pr_{cal} = carga dinámica equivalente.

f_h = factor de vida útil.

f_n = factor de velocidad.

Para 6000 horas en 5 años $f_h = 2,3$ (ANEXO I).

Para 107,5 rpm $f_n = 0,71$ (ANEXO I).

$$Cr_{cal} = \frac{2,3}{0,71} 131,285 N$$

$$Cr_{cal} = 179,025 N$$

Comparamos los valores de carga dinámica calculada con los valores que se encuentra en el catálogo LDK. La chumacera seleccionada pertenece a la serie SUC200 por lo que el catalogo recomienda tomar los valores Cr de SUC 205 – 16. (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**)

$$Cr_{cal_0} = 425,28 N < Cr_0 = 6,98 KN$$

$$Cr_{cal} = 179,025 N < Cr = 10,78 KN$$

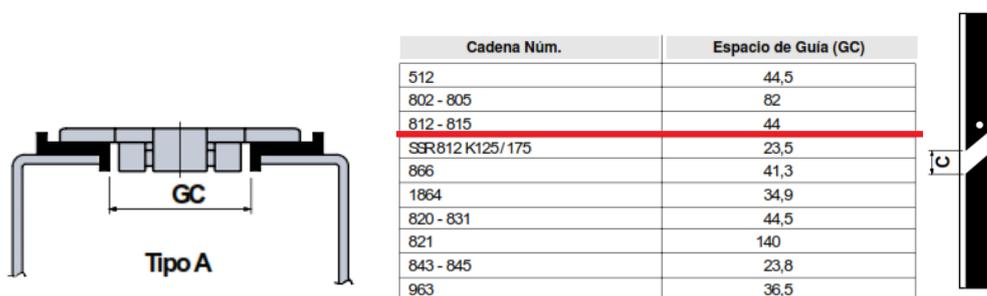
Se puede concluir que la chumacera seleccionada es la adecuada.

4.2.7 Guías de desgaste. El catalogo REXNORD recomienda que las guías sean de nylon, debido a su bajo coeficiente de fricción. Las guías son fijadas a la superficie del

carril con tornillos para evitar que estas se muevan durante del funcionamiento de la banda transportadora.

4.2.7.1 Especificaciones de las guías de desgaste El catalogo REXNORD recomienda el espacio que debe tener la guía de desgaste que es de 44mm para la cadena de la banda transportadora y con un espacio entre guías de 2mm a 45° para que la entrada de la cadena sea suave al momento de transportar.

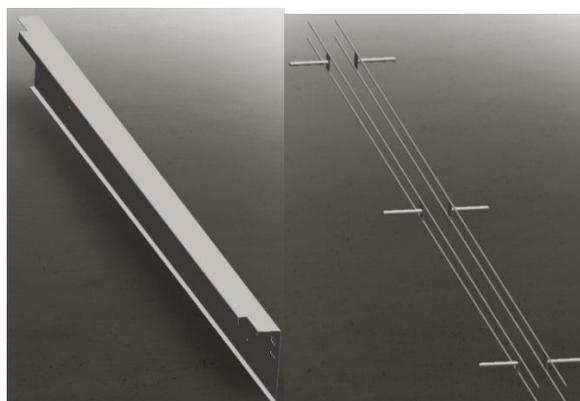
Figura 37. Guías de desgaste



Fuente: Catalogo REXNORD

4.2.8 Rieles guía. Son los encargados de guiar los envases en forma lineal por toda la banda transportadora, están colocados sobre la bancada de la banda y el espacio entre ellos depende de la geometría del envase a utilizar. Los rieles están ubicados a cada lado de la banda transportadora, se ha utilizado dos barrillas de acero inoxidable 304 de 3/8” de diámetro y 3m de longitud, con una separación entre ellas de 5cm.

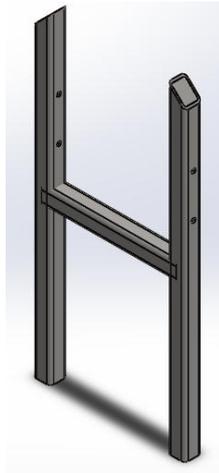
Figura 38. Rieles y guía



Fuente: Autor

4.2.9 Soporte banda transportadora. Para realizar el diseño de la estructura se toma en cuenta el peso de todos los elementos que forman parte de la banda transportadora y el producto, con la ayuda del método de elementos finitos se determina la resistencia que tiene la estructura.

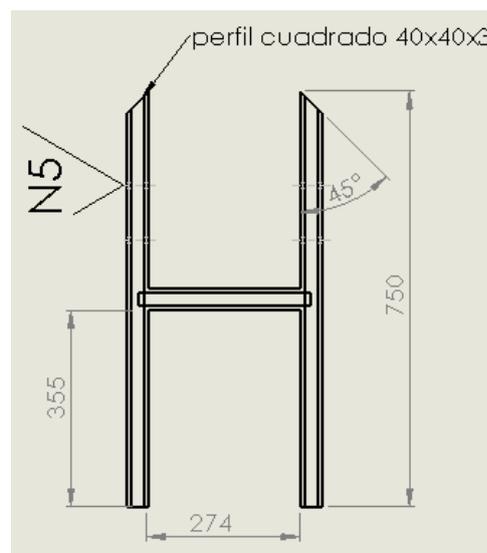
Figura 39. Soporte banda transportadora



Fuente: Autor

4.2.9.1 Características geométricas. La estructura es construida con perfil cuadrado 40x40x2 de acero inoxidable AISI 304, que cumple con los estándares de calidad alimenticio.

Figura 40. Geometría soporte banda transportadora



Fuente: Autor

La estructura debe soportar todos los elementos de la banda transportadora y los envases llenos con el producto.

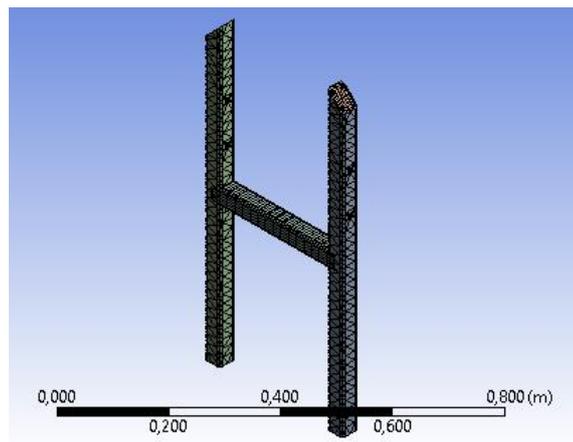
Peso total de la banda transportadora es de 61,3 kg como hay dos soportes se divide el peso a la mitad.

Peso total del producto en toda la banda es de 40 kg, pero como hay dos soportes el peso se divide para dos.

Peso del motor reductor: 25,7 kg

4.2.9.2 *Análisis por el método de elementos finitos.* Ingresamos el soporte en el entorno del software ANSYS 17,2, para realizar el mallado de la estructura.

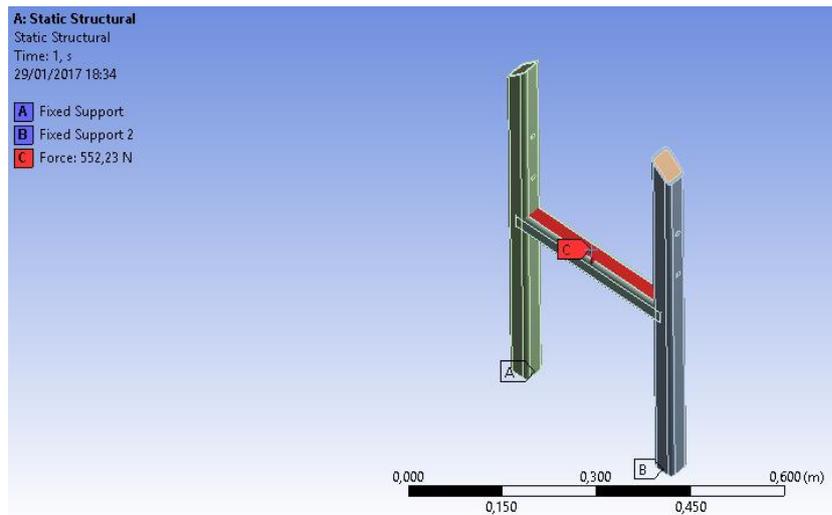
Figura 41. Mallado del soporte



Fuente: Autor

El análisis de MEF se realiza en la estructura que más peso soporta, en este caso es donde se encuentra el motor reductor. Se introduce los parámetros de carga y puntos de apoyo.

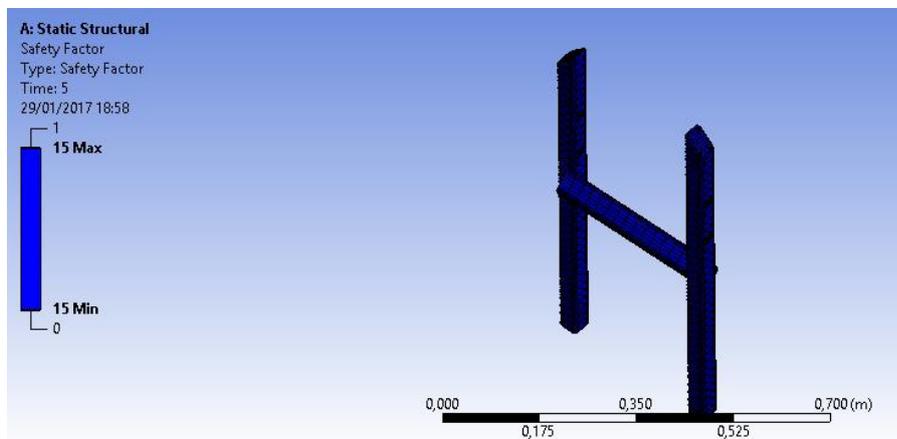
Figura 42. Cargas y soportes



Fuente: Autor

4.2.9.3 Resultados de MEF. El análisis nos ayuda a determinar la resistencia que tiene la estructura a la carga aplicada.

Figura 43. Análisis soporte

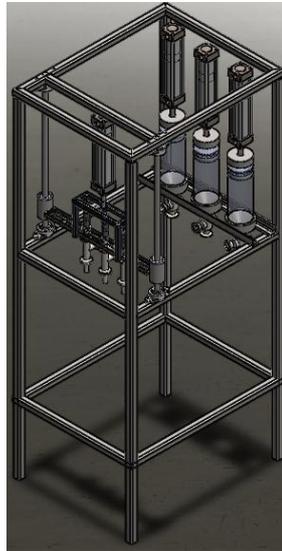


Fuente: Autor

El coeficiente de seguridad que tiene la estructura es muy alto, por lo que se garantiza que tiene una buena resistencia, sin deformación o colapso de la misma.

4.3 Diseño del sistema de dosificación

Figura 44. Esquema del sistema de dosificación

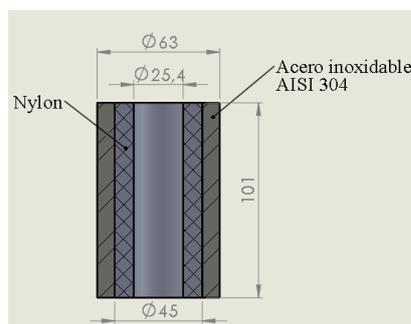


Fuente: Autor

4.3.1 Bocines de deslizamiento. Los bocines son los encargados de mantener las boquillas de dosificación siempre en forma horizontal sobre el eje vertical, el largo del bocín es recomendable que este sea de 2,5 a 4 veces el diámetro del eje.

El diámetro del eje es de 24,5 mm por lo que el largo del bocín será de 101 mm para que el deslizamiento sobre el eje guía sea el adecuado.

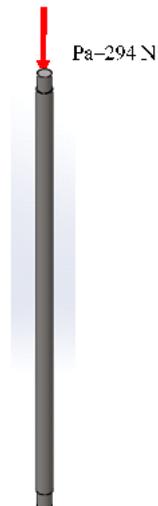
Figura 45. Geometría bocín de deslizamiento



Fuente: Autor

4.3.2 Eje guía vertical. El eje va a soportar el peso de todos los elementos del cabezal de dosificación, el peso todos los elementos es de 588 N, pero como hay dos ejes esta fuerza se divide para dos.

Figura 46. Eje guía vertical



Fuente: Autor

4.3.2.1 Longitud de pandeo

$$l_p = 2L \quad (44)$$

Dónde:

l_p = longitud de pandeo de la columna.

L = longitud del eje 82 cm.

$$l_p = (2)(82cm)$$

$$l_p = 164 \text{ cm.}$$

4.3.2.2 Razón de esbeltez

$$\frac{Lk}{r} = 2 \frac{l_p}{d} \quad (45)$$

Dónde:

$\frac{Lk}{r}$ = razón de esbeltez.

l_p = longitud de pandeo de la columna.

d = diámetro del eje 2,54 cm.

$$\frac{Lk}{r} = 2 \frac{164 \text{ cm}}{2,54 \text{ cm}}$$

$$\frac{Lk}{r} = 129,13$$

4.3.2.3 *Coefficiente de columna*

$$C_c = \sqrt{\frac{2\pi E}{S_y}} \quad (46)$$

Dónde:

C_c = coeficiente de columna.

E = módulo de elasticidad del material (ANEXO D).

S_y = límite de fluencia del material (ANEXO C).

$$C_c = \sqrt{\frac{2\pi(189,6 \text{ GPa})}{276 \text{ MPa}}}$$

$$C_c = 65,7$$

Comparamos los dos valores:

$$\frac{Lk}{r} > C_c \quad (47)$$

$$129,13 > 68,7$$

Como la razón de esbeltez es mayor que el coeficiente de columna, por lo que cumple con la condición para columna larga, aplicamos la ecuación de Euler para columnas largas.

4.3.2.4 Ecuación de Euler

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 EA}{\left(\frac{Lk}{r}\right)^2} \quad (48)$$

Dónde:

P_{cr} = Ecuación de Euler.

E = módulo de elasticidad del material (ANEXO D).

A = área del eje $0,00032 \text{ m}^2$.

$\frac{Lk}{r}$ = razón de esbeltez 129,13.

$$P_{cr} = \frac{\pi^2(189,6\text{GPa})(0,00032 \text{ m}^2)}{(129,13)^2}$$

$$P_{cr} = 35911,51 \text{ N}$$

4.3.2.5 Coeficiente de seguridad

$$\eta = \sqrt{\frac{P_{cr}}{P_a}} \quad (49)$$

$$\eta = \sqrt{\frac{35911,51 \text{ N}}{294 \text{ N}}} = 11,05$$

4.3.3 Chumaceras de soporte eje guía. Para la selección adecuada de la chumacera hay que considerar el diámetro y las fuerzas que actúan sobre el eje guía.

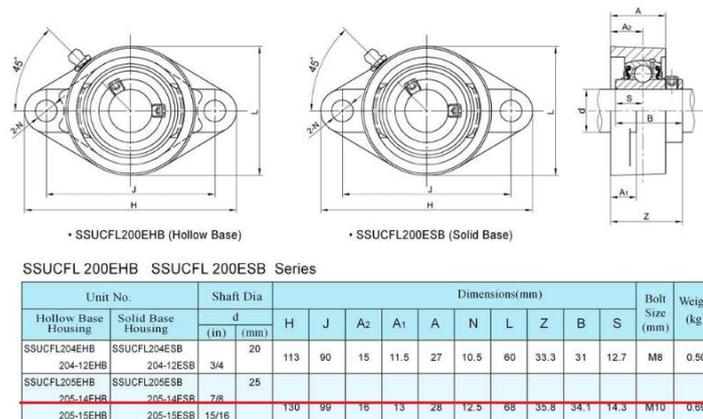
$$D = 0,00254 \text{ m}$$

El eje soporta el peso de todos los elementos del cabezal de dosificación, como hay dos ejes la fuerza se divide para dos.

$$P_{cabezal} = 294 \text{ N}$$

La chumacera debe ser de acero inoxidable por lo que se seleccionó una del catálogo LDK, esta chumacera servirá como soporte debe a que tiene rotula para que el eje guía permanezca siempre en sentido vertical.

Figura 47. Chumacera LDK



Fuente: Catalogo LDK

Se seleccionó la chumacera SSUCFL205 – 14ESB.

4.3.3.1 Caso sin carga.

$$Pr_{cal_0} = f_d P \quad (50)$$

Dónde:

P_{cal_0} = carga dinámica equivalente.

f_d = factor de esfuerzos sin carga 1,1 (ANEXO I).

P = reacción en el punto A

$$Pr_0 = 1,1(294N)$$

$$Pr_{cal_0} = 323,4 N$$

Cálculo de la capacidad de carga dinámica de la chumacera sin carga.

$$Cr_{cal_0} = \frac{f_h}{f_n} Pr_{cal_0} \quad (51)$$

Dónde:

Cr_{cal_0} = capacidad de carga dinámica.

P_{cal_0} = carga dinámica equivalente.

f_h = factor de vida útil.

f_n = factor de velocidad.

Para 6000 horas en 5 años $f_h = 2,3$ (ANEXO I).

Como soporte $f_n = 1,5$ (ANEXO I).

$$Cr_{cal_0} = \frac{2,3}{1,5} 323,4 N$$

$$Cr_{cal_0} = 495,88 N$$

4.3.3.2 *Caso con carga.*

$$Pr_{cal} = f_d P \quad (52)$$

Dónde:

Pr_{cal} = carga dinámica equivalente.

f_d = factor de esfuerzos con carga 1,5 (ANEXO I).

P = reacción en el punto A.

$$Pr_0 = 1,5(294N)$$

$$Pr_{cal_0} = 441 N$$

Cálculo de la capacidad de carga dinámica de la chumacera con carga.

$$Cr_{cal} = \frac{f_h}{f_n} Pr_{cal} \quad (53)$$

Dónde:

Cr_{cal} = capacidad de carga dinámica.

Pr_{cal} = carga dinámica equivalente.

f_h = factor de vida útil.

f_n = factor de velocidad.

Para 6000 horas en 5 años $f_h = 2,3$ (ANEXO I).

Como soporte $f_n = 1,5$ (ANEXO I).

$$Cr_{cal} = \frac{1,5}{1,5} 441 N$$

$$Cr_{cal} = 441 N$$

Comparamos los valores de carga dinámica calculada con los valores que se encuentra en el catálogo LDK. La chumacera seleccionada pertenece a la serie SUC200 por lo que el catalogo recomienda tomar los valores Cr de SUC 205 – 14. (ANEXO H)

$$Cr_{cal_0} = 495,88 \text{ N} < Cr_0 = 6,98 \text{ KN}$$

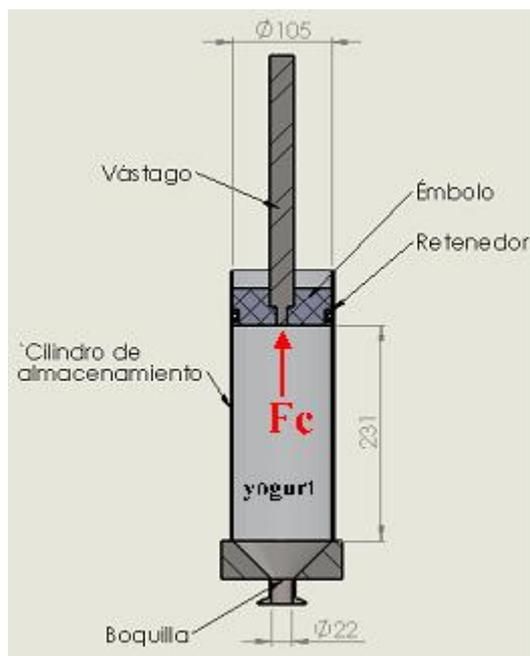
$$Cr_{cal} = 441 \text{ N} < Cr = 10,78 \text{ KN}$$

Se puede concluir que la chumacera seleccionada es la adecuada.

4.3.4 Cálculo de la fuerza en el cilindro de almacenamiento

La fuerza necesaria a aplicar debe vencer los diferentes pesos: producto, émbolo, retenedor, vástago y la fuerza debida a la fricción retenedor – cilindro.

Figura 48. Cilindro de almacenamiento



Fuente: Autor

4.3.4.1 Cálculo de la velocidad del émbolo

$$V = \frac{e}{t} \tag{54}$$

Dónde:

V = velocidad del émbolo.

e = distancia de desplazamiento 0,231 m.

t = tiempo de subida 5 segundos asumida.

$$V = \frac{0,231 \text{ m}}{5 \text{ s}}$$

$$V = 0,0462 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

4.3.4.2 Cálculo de la aceleración del émbolo

$$a = \frac{V}{t} \tag{55}$$

Donde:

a = aceleración del émbolo a la subida.

V = velocidad del émbolo.

t = tiempo de subida 5 segundos asumida.

$$a = \frac{0,0462 \text{ m/s}}{5 \text{ s}}$$

$$a = 0,00924 \text{ m/s}^2$$

4.3.4.3 Cálculo de la fuerza de subida

$$\sum F_y = ma \tag{56}$$

$$F - W_{\text{producto}} - W_{\text{retenedor}} - W_{\text{vástago}} - W_{\text{embolo}} - Fr = ma$$

Dónde:

F = Fuerza necesaria a la subida

$W_{producto}$ = peso del producto 19,6 N

$W_{retenedor}$ = peso del retenedor 0,229 N

$W_{vástago}$ = peso del vástago 7,84 N.

W_{embolo} = peso del émbolo 3,44 N.

m = masa total de los elementos (producto, retenedor, vástago y émbolo).

$$m = 2kg + 0,35kg + 0.8kg + 0,02kg$$

$$m = 3,17 kg$$

Fr = fuerza de rozamiento 10%F.

a = aceleración del émbolo $0,00924 m/s^2$.

Reemplazando:

$$F - 19,6N - 0,229N - 7,84N - 3,44 - 0,1F = (3,17kg)(0,00924 \frac{m}{s^2})$$

$$F = 34,6 N$$

4.3.4.4 Cálculo de la presión en la boquilla

$$P = \frac{F}{A_{boq}} \quad (57)$$

Dónde:

P = presión en la boquilla.

F = fuerza de subida.

A_{boq} = área de la boquilla $0,00038 \text{ m}^2$.

$$P = \frac{34,6N}{0,00038 \text{ m}^2}$$

$$P = 91052,63 \text{ Pa}$$

4.3.4.5 *Cálculo de la fuerza necesaria para el cilindro neumático.* Como se trata de un sistema cerrado la presión ejercida en la boquilla es igual a la presión en el émbolo.

$$F_c = PA_{emb} \quad (58)$$

Dónde:

F_c = fuerza en el cilindro de almacenamiento.

A_{emb} = área del cilindro de almacenamiento $0,0086 \text{ m}^2$.

P = presión en la boquilla.

$$F_c = (91052,63 \text{ Pa})(0,0086 \text{ m}^2)$$

$$F_c = 783,05 \text{ N}$$

Este valor es fundamental para la selección adecuada del cilindro neumático, que accionara el mecanismo.

4.4 Sistema de roscado

4.4.1 *Cálculo de la potencia de roscado.* La potencia necesaria que debe tener el dispositivo se calcula mediante la siguiente expresión:

$$Pot = \tau \cdot \omega \quad (59)$$

Dónde:

τ = torque máximo de roscado según el tamaño de tapa, para 43 mm es 25 lb.pulg (ANEXO J)

ω = velocidad de roscado, 1000 rpm.

Reemplazando:

$$Pot = \tau \cdot \omega$$

$$Pot = 2,82 \text{ Nm} \cdot 104,72 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$$

$$Pot = 295,31 \text{ W}$$

$$Pot = 0,4 \text{ HP}$$

4.4.2 Selección del dispositivo de roscado. Como el mecanismo de roscado se va a realizar en forma manual, es necesario seleccionar un dispositivo neumático con controlador de torque para que gire 3 vueltas por segundo, por lo que la velocidad angular requerida para el correcto roscado es de 180 rpm, se seleccionó un dispositivo marca Campbell Hausfeld CL252100AV de 0,45 HP.

Figura 49. Campbell Hausfeld CL252100AV



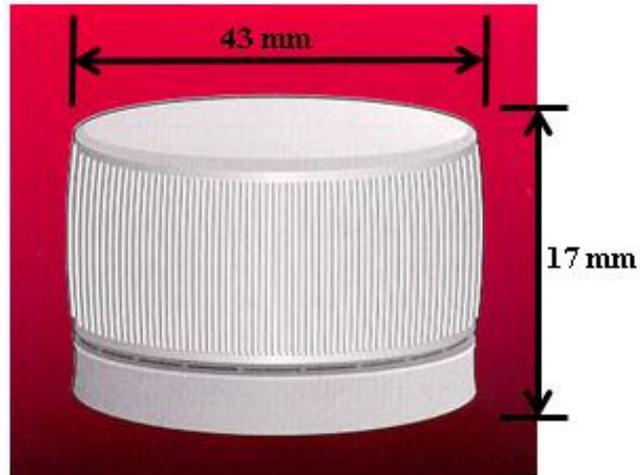
Fuente:https://campbellhausfeld.com/full-size-die-grinder-1252100av.html?category_id=67

Características del dispositivo:

- Control de velocidad ajustable
- Seguridad palanca de retención del acelerador
- Boquilla de 1/4 pulg
- Potencia nominal: 0,45 HP
- Velocidad de giro (RPM): 22000 rpm
- Consumo de aire promedio: 12.5 SCFM
- Diámetro de la manguera 3/8 pulg.
- Tipo: recta
- Peso: 1,4 lb.

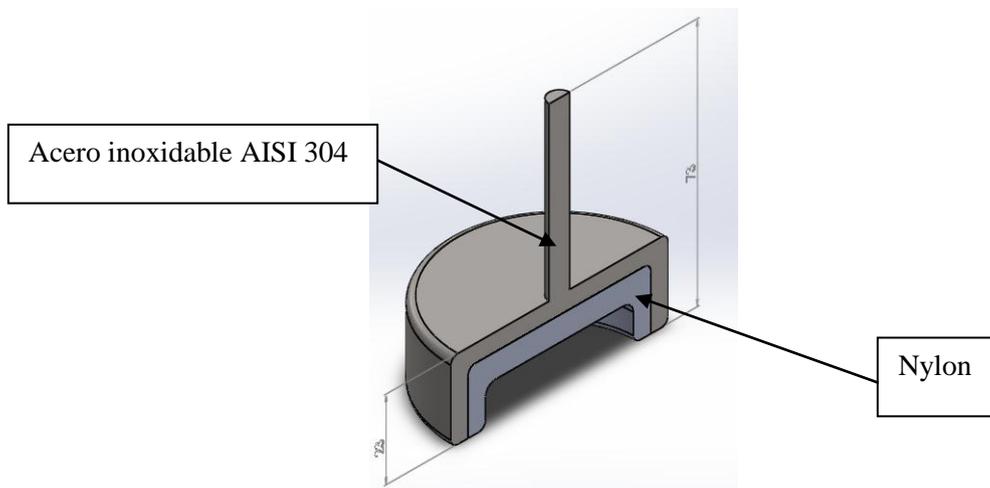
4.4.3 Boquilla para roscado. Para el diseño de la boquilla hay que tomar en cuenta las dimensiones que tiene la tapa, con el fin de asegurar un roscado adecuado.

Figura 50. Dimensiones de la tapa



Fuente: Autor

Figura 51. Geometría de boquilla de roscado



Fuente: Autor

4.5 Sistema neumático

4.5.1 Cilindro neumático para cabezal de dosificación. Este cilindro neumático es el encargado de subir y bajar el cabezal de dosificación, para seleccionar el cilindro adecuado hay que considerar el peso de los elementos que hay en el cabezal y la presión máxima de trabajo.

$$W_{cabezal} = 60 \text{ kg} = 588 \text{ N}$$

La fuerza de fricción producida por los bocines es el 20% del $W_{cabezal}$.

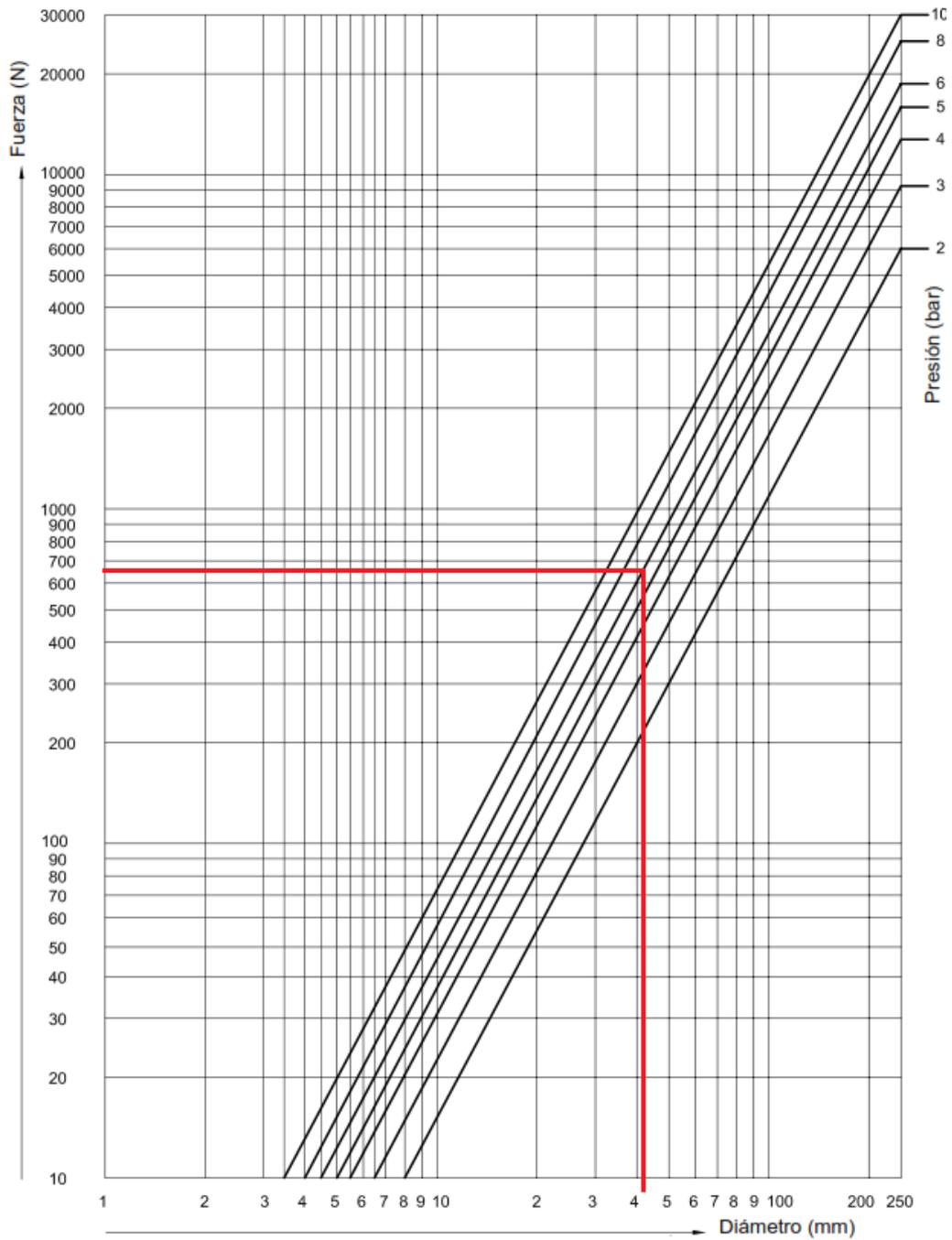
$$F_{bocin} = 117,6 \text{ N}$$

$$F_{total} = 675,6 \text{ N}$$

$$P_{aire} = 6 \text{ Bar}$$

Para la selección adecuada del cilindro es necesario utilizar un nomograma.

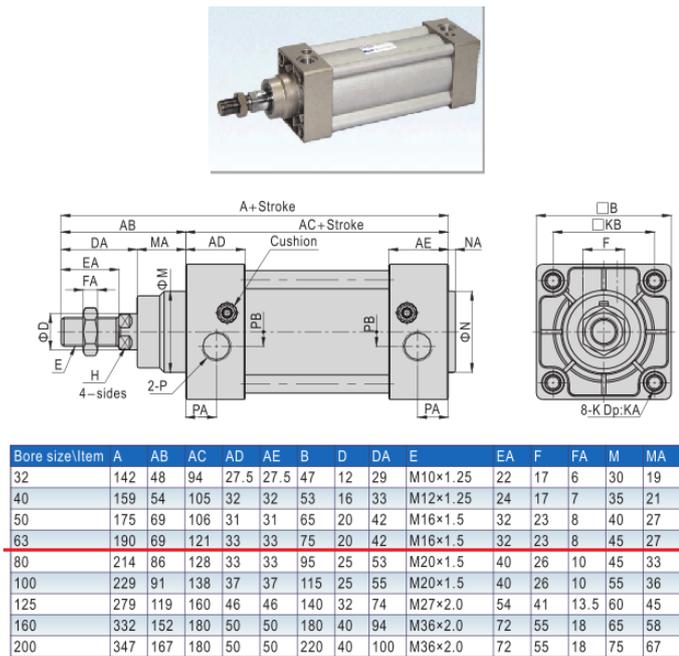
Figura 52. Nomograma selección cilindro neumático



Fuente: Catalogo actuadores Micro

Según el nomograma el diámetro del cilindro neumático es de 42 mm, el diámetro estándar existentes en el mercado es de 45mm. por lo que se seleccionó un cilindro neumático Airtac SI 63x200.

Figura 53. Características del cilindro neumático Airtac



Fuente: Airtac

Tabla 11. Especificaciones del cilindro Airtac SI 63x200

Marca	Airtac SI
Tipo de accionamiento	Doble efecto con amortiguación
Presión de operación	1 – 10 bar
Fluido	Aire comprimido
Temperatura de funcionamiento	20 – 80 °C
Diámetro de émbolo	45 mm
Diámetro del vástago	22 mm
Carrera	200 mm
Material	Aleación de aluminio resistente a la corrosión

Fuente: Airtac

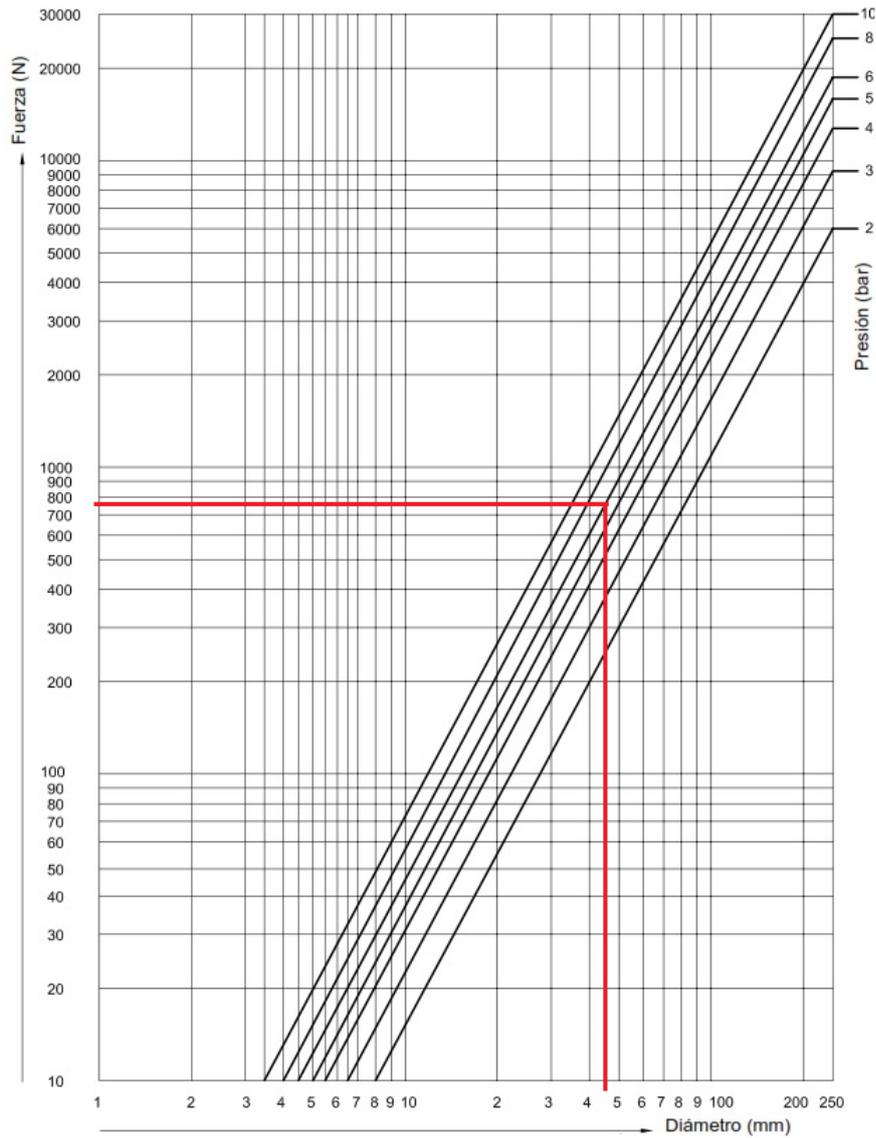
4.5.2 Cilindro neumático para la succión del cilindro de almacenamiento. Este cilindro neumático es el encargado de succionar y dosificar el yogurt con la medida correcta, para seleccionar el cilindro adecuado tomamos la fuerza anteriormente ya calculada y la presión de trabajo.

$$F_c = 783,05 \text{ N}$$

$$P_{aire} = 6 \text{ Bar}$$

Para la selección adecuada del cilindro es necesario utilizar un nomograma.

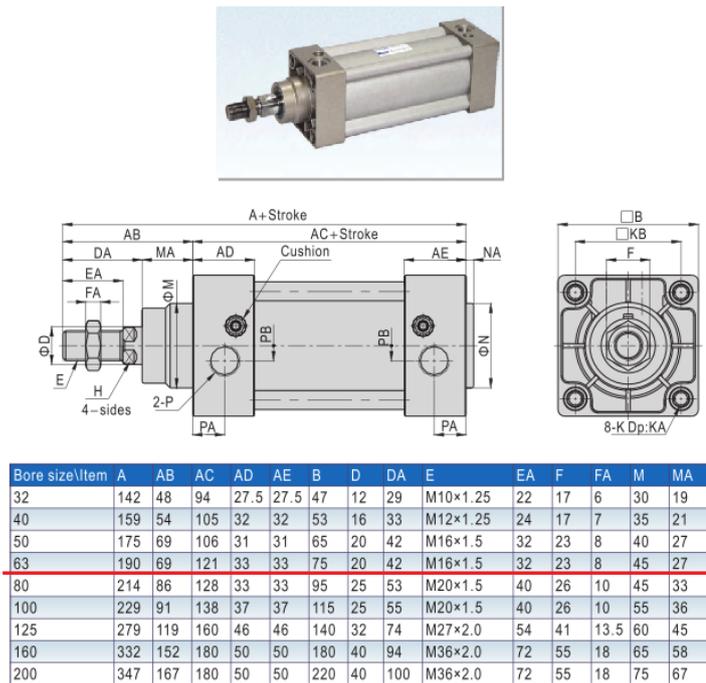
Figura 54. Nomograma selección cilindro neumático



Fuente: Catalogo actuadores Micro

Según el nomograma, el diámetro del cilindro neumático es de 45 mm, como la carrera es estándar, se seleccionó un cilindro neumático Airtac SI 63x250.

Figura 55. Características del cilindro Airtac



Fuente: Airtac

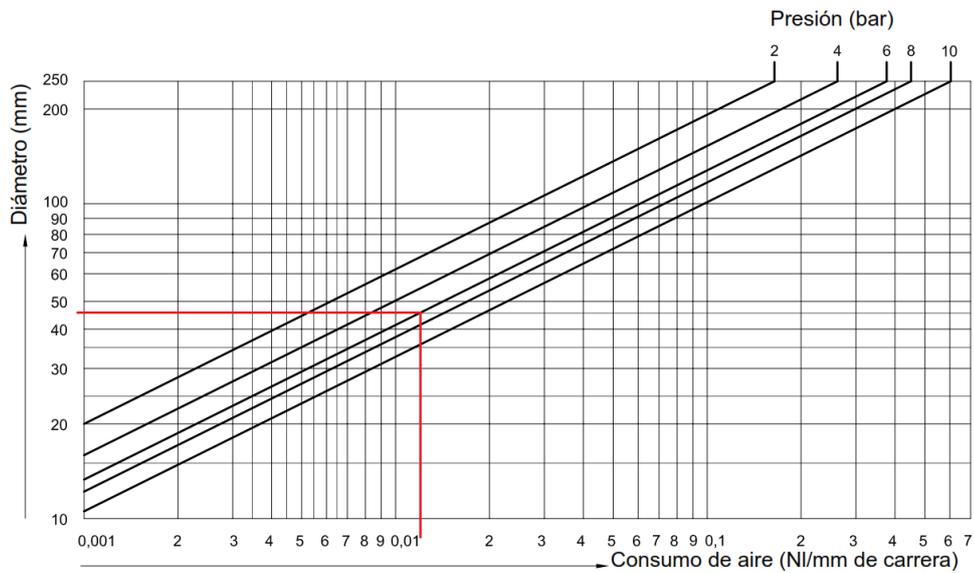
Tabla 12. Especificaciones del cilindro Airtac SI 63x250

Marca	Airtac SI
Tipo de accionamiento	Doble efecto con amortiguación
Presión de operación	1 – 10 bar
Fluido	Aire comprimido
Temperatura de funcionamiento	20 – 80 °C
Diámetro de émbolo	45 mm
Diámetro del vástago	22 mm
Carrera	250 mm
Material	Aleación de aluminio resistente a la corrosión

Fuente: Airtac

4.5.3 Consumo de aire. Con la ayuda del monograma determinamos cual es el consumo de aire que tiene el cilindro neumático seleccionado.

Figura 56. Consumo de aire cilindro Airtac SI 63x250



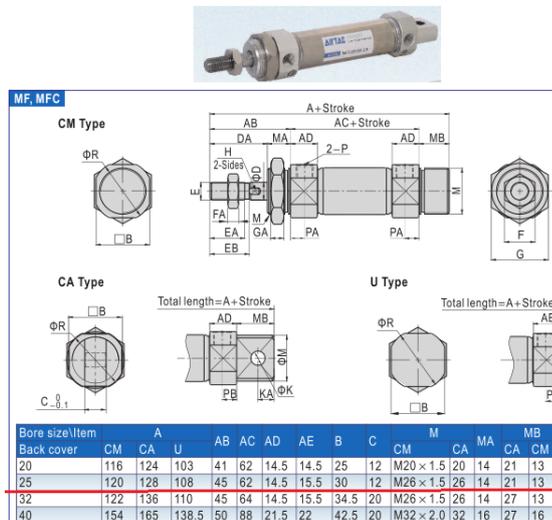
Fuente: Catalogo actuadores Micro

El consumo de aire es de 0,013 NI/mm.

4.5.4 Mini cilindros neumáticos

4.5.4.1 Mini cilindros para boquillas. Son los encargados de abrir y cerrar las boquillas de dosificación por lo que se seleccionó en función del diámetro del ferrul que es de 1 pulg y la carrera de 5 cm necesaria para su correcto funcionamiento.

Figura 57. Características del mini cilindro Airtac



Fuente: Airtac

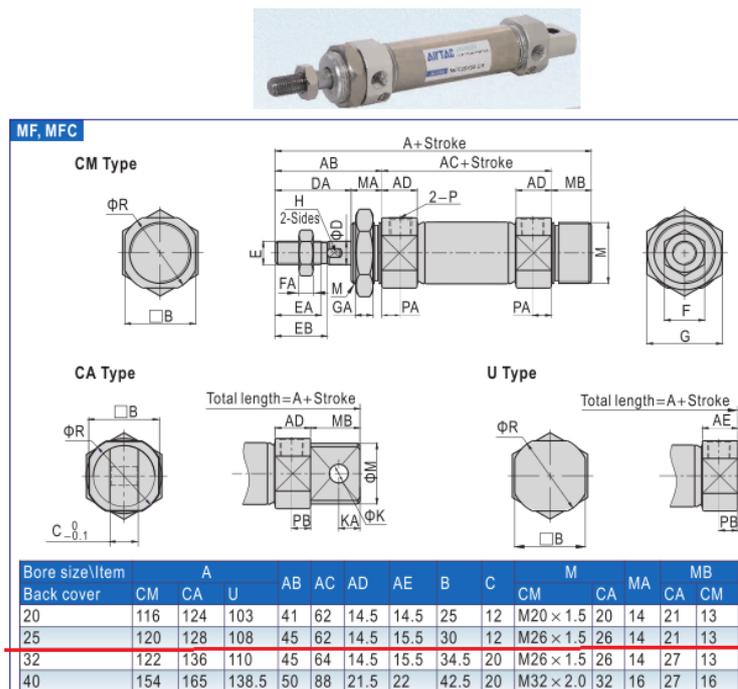
Tabla 13. Especificaciones del cilindro Airtac SI 25x50

Marca	Airtac SI
Tipo de accionamiento	Doble efecto con amortiguación
Presión de operación	1 – 10 bar
Fluido	Aire comprimido
Temperatura de funcionamiento	20 – 70 °C
Diámetro de émbolo	17 mm
Diámetro del vástago	10 mm
Carrera	50 mm
Material	Acero Inoxidable AISI 304

Fuente: Airtac

4.5.4.2 Mini cilindros para separar envases. Son los encargados de distanciar los envases vacíos y llenos que están en la banda transportadora, se seleccionó su carrera de acuerdo al ancho de la banda transportadora.

Figura 58. Características del mini cilindro Airtac



Fuente: Airtac

Tabla 14. Especificaciones del cilindro Airtac SI 25x100

Marca	Airtac SI
Tipo de accionamiento	Doble efecto con amortiguación
Presión de operación	1 – 10 bar
Fluido	Aire comprimido
Temperatura de funcionamiento	20 – 70 °C
Diámetro de émbolo	17 mm
Diámetro del vástago	10 mm
Carrera	100 mm
Material	Acero Inoxidable AISI 304

Fuente: Airtac

4.5.5 Electroválvulas. Son las encargadas controlar el movimiento y el correcto accionamiento de los diferentes cilindros neumáticos.

Figura 59. Electroválvula 5/2



Fuente: Airtac

Tabla 15. Especificaciones de la electroválvula 5/2

Marca	Airtac 4V200
Tipo de accionamiento	Válvula 5/2 monoestable (con muelle)
Presión de operación	1,5 – 8 bar
Fluido	Aire comprimido
Temperatura de funcionamiento	20 – 70 °C
Montaje	Mediante tornillos de sujeción

Tabla 15. (Continuación)

Conexión	1/4
Tensión solenoide	AC110V, AC220V
Material	Aleación de aluminio

Fuente: Airtac

4.5.6 Conectores neumáticos. Se utilizan para acoplar los distintos dispositivos neumáticos, son fabricados de diferentes materiales y tamaños dependiendo de su uso.

Figura 60. Manguera neumática



Fuente: Airtac

Tabla 16. Especificaciones manguera neumática

Marca	Airtac
Material	Poliuretano
Presión de operación	10 bar
Fluido	Aire comprimido
Temperatura de funcionamiento	20 – 70 °C
Diámetro	6-8mm

Fuente: Airtac

Figura 61. Conectores rápidos



Fuente: Airtac

Tabla 17. Especificaciones conectores rápidos

Marca	Airtac
Material	níquel
Presión de operación	15 bar
Fluido	Aire comprimido
Temperatura de funcionamiento	0-60 °C
Diámetro	1/4 mm

Fuente: Airtac

4.5.7 Unidad de mantenimiento neumático (FRL)

Es la encargada de mantener el aire limpio de impurezas en todo el sistema, evitando que los elementos se dañen o se deterioren, está constituida por un filtro de aire, un regulador de presión y un lubricador, todo esto hace que los dispositivos funcionen adecuadamente.

Figura 62. Unidad de mantenimiento neumático (FRL)



Fuente: Airtac

Tabla 18. Especificaciones de la unidad de mantenimiento neumático

Marca	Airtac GCF300-08
Tipo	NPT
Presión de operación	10 bar
Fluido	Aire comprimido
Temperatura de funcionamiento	5 – 70 °C
Montaje	Mediante tornillos de sujeción
Conexión	1/4
Filtración	5 micras
Peso	980 gramos

Fuente: Airtac

4.5.8 Sensor. El sensor inductivo o de proximidad detecta el campo magnético del vástago permitiendo utilizado para detectar la posición los finales de carrera de los cilindros neumáticos.

Figura 63. Sensor de proximidad



Fuente: Airtac

Tabla 19. Especificaciones del sensor de proximidad

Marca	Airtac
Tipo	Swich magnético con contacto normalmente abierto

Tabla 19. (Continuación)

Modelo	CS1-J
Fluido	Aire comprimido
Temperatura de funcionamiento	10 – 70 °C
Montaje	Mediante tornillo de sujeción
Voltaje	2,5 V – 100 mA DC
Sensibilidad	60-70 Gauss
Indicador	LED rojo

Fuente: Airtac

CAPÍTULO V

5. CONSTRUCCIÓN, MONTAJE Y PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO

5.1 Construcción de la máquina envasadora

Las máquinas y herramientas que se utilizaron para la construcción y montaje de la envasadora de yogurt son las siguientes:

- Torno
- Fresadora
- Cortadora por plasma
- Soldadora de arco
- Soldadora de alta frecuencia TIG
- Flexómetro
- Calibrador pie de rey
- Escuadra
- Brocas
- Pulidoras
- Esmeriladoras
- Amoladoras
- Taladro de mano

- Taladro de pedestal
- Martillos
- Llaves Allen, inglesa y métrica
- Machuelos
- Destornilladores
- Prensa de banco
- Alicates
- Lijas de pulido
- Limatón
- Cizalla hidráulica
- Dobladora automática
- Baroladora

5.1.1 Elementos de construcción. A continuación, se detalla todos los sistemas, elementos, cantidad y material/modelo que conforman la máquina envasadora de yogurt.

Tabla 20. Partes constructivas de la máquina envasadora

Sistemas	Elemento	Cantidad	Material/Modelo
Sistema de transporte	Lámina lateral derecha	1	Acero inoxidable AISI 304
	Lámina lateral izquierda	1	Acero inoxidable AISI 304
	Soportes guías	6	Acero inoxidable AISI 304

Tabla 20. (Continuación)

	Barras guías	2	Acero inoxidable AISI 304
	Guías de desgaste	6	Nylon
	Eje motriz	1	Acero inoxidable AISI 304
	Eje conducido	1	Acero inoxidable AISI 304
	Barras para soporte guías	6	Acero inoxidable AISI 304
	Tapas posteriores de protección	2	Acero inoxidable AISI 304
	Protección motor	1	Acero inoxidable AISI 304
	Motor	1	Weq
Sistema de dosificación	Cilindros de almacenamiento	3	Acero inoxidable AISI 304
	Base soporte cilindros de almacenamiento	1	Acero inoxidable AISI 304
	Boquillas para cilindros de almacenamiento	3	Acero inoxidable AISI 304
	Ejes guías	2	Acero inoxidable AISI 304
	Bocines ejes guías	2	Acero inoxidable AISI 304
	Soporte para boquillas de dosificación	1	Acero inoxidable AISI 304
	Mangueras plasticas	3	Silicona
	Vástagos	3	Acero inoxidable AISI 304
	Émbolos	3	Nylon
	Ferrules	15	Acero inoxidable AISI 304
	Abrazaderas	15	Acero inoxidable AISI 304
	Válvulas 3 vías	3	Acero inoxidable AISI 304
	O rings	9	Silicona
Sistema estructural	Estructura del equipo	2	Acero inoxidable AISI 304
	Planchas para transporte	1	Acero inoxidable AISI 304

Tabla 20. (Continuación)

	Tornillos de soporte	8	Acero inoxidable AISI 304
	Tapas laterales de la banda transportadora	2	Acero inoxidable AISI 304
Sistema de tapado	boquilla de roscado	1	Acero inoxidable AISI 304
	Roscador neumático	1	Campbell Hausfeld CL2521
Sistema neumático	Cilindros neumáticos	5	Airtac
	Micro cilindros neumáticos	5	Airtac
	Electro válvulas 5/2	10	Airtac
	Conectores 6mm	20	Airtac
	Reguladores de presión	20	Airtac
	manguera neumática	1	Airtac
sistema de control y eléctrico	Sensores de proximidad	10	Airtac
	Sensores fotoeléctricos	2	Airtac
	PLC	1	Siemens
	Motor	1	Weq
	Contactador	1	Siemens
	Circuito de potencia	1	Normalizado
	Circuito de control	1	Normalizado
	Caja de control	1	Diseño, acero inoxidable AISI 304

Fuente: Autor

5.1.2 Tiempos de construcción. A continuación, se detallan los tiempos de construcción para cada elemento de los diferentes sistemas que forman parte de la máquina envasadora.

Tabla 21. Tiempos de construcción de la máquina envasadora

Sistemas	Elemento	No.	Operaciones	Tiempo (h)
Sistema de transporte	Lámina lateral derecha	1	Toma de medidas	2
		2	Trazado	1
		3	Corte plasma	0,5
		4	Doblado	1
		5	Pre soldado	0,5
		6	Taladrado	2
		7	Limado	1
		8	Pulido	2
	Lámina lateral izquierda	9	Toma de medidas	2
		10	Trazado	1
		11	Corte plasma	0,5
		12	Doblado	1
		13	Pre soldado	0,5
		14	Taladrado	2
		15	Limado	1
		16	Pulido	2
	Soportes guías	17	Toma de medidas	1
		18	Trazado	0,5
		19	Corte	1
		20	Soldado	2
		21	Pulido	2
	Barras guías	22	Trazado	0,3

Tabla 21. (Continuación)

		23	Corte	0,2	
		24	Soldado	1,3	
		25	Pulido	0,5	
		26	Montaje	1,2	
	Guías de desgaste	27	Toma de medidas	0,3	
		28	Trazado	1	
		29	Corte	2,5	
	Eje motriz	30	Toma de medidas	0,3	
		31	Trazado	0,2	
		32	Corte	0,1	
		33	Mecanizado	,1:3	
		34	Fresado	2	
		35	Pulido	0,3	
	Eje conducido	Eje conducido	36	Toma de medidas	0,3
			37	Trazado	0,2
38			Corte	0,1	
39			Mecanizado	1,3	
40			Fresado	2	
41			Pulido	0,3	
Barras para soporte guías		42	Trazado	0,1	
		43	Corte	0,2	
		44	Soldado	1,3	
		45	Pulido	0:15	

Tabla 21. (Continuación)

	Tapas posteriores de protección	46	Toma de medidas	1
		47	Trazado	0,3
		48	Corte plasma	0,15
		49	Doblado	0,50
		50	Pre soldado	0,15
		51	Taladrado	0,3
		52	Pulido	1
	Protección motor	53	Toma de medidas	0,15
		54	Trazado	0,1
		55	Corte plasma	0,1
		56	Doblado	0,3
			57	Pre soldado
58			Taladrado	0,3
59			Soldado	0,15
60			Pulido	0,50
Motor		61	Montaje	0,30
Sistema de dosificación	Cilindros de almacenamiento	62	Toma de medidas	2
		63	Trazado	1
		64	Corte	0,5
		65	Limado	1
		66	Pulido	24

Tabla 21. (Continuación)

	Base soporte cilindros de almacenamiento	67	Toma de medidas	1
		68	Corte	1
		69	Soldado	1
		70	Limado	1
		71	Pulido	2
	Boquillas para cilindros de almacenamiento	72	Toma de medidas	0,3
		73	Trazado	0,2
		74	Corte	0,1
		75	Mecanizado	1,3
		76	Fresado	2
	Ejes guías	77	Trazado	0,1
		78	Corte	0,2
		79	Pulido	0,3
	Bocines ejes guías	80	Toma de medidas	2
		81	Trazado	1
		82	Corte	0,5
		83	Mecanizado	1,3
		84	Limado	1
		85	Pulido	2
	Soporte para boquillas de dosificación	86	Toma de medidas	1
		87	Corte	1
		88	Soldado	0,5
		89	Limado	1

Tabla 21. (Continuación)

		90	Pulido	0,3
	Mangueras plásticas	91	Toma de medidas	1
		92	Corte	1
		93	Montaje	0,5
	Vástagos	94	Toma de medidas	0,3
		95	Trazado	0,2
		96	Corte	0,1
		97	Mecanizado	1,3
		98	Fresado	2
	Émbolos	99	Toma de medidas	1
		100	Trazado	0,3
		101	Corte	0,45
		102	Mecanizado	3
		103	Fresado	1
	Ferrules	104	Montaje	1
	Abrazaderas	105	Montaje	0,5
	Válvulas 3 vías	106	Montaje	0,3
	O rings	107	Montaje	0,3
Sistema estructural	Estructura soporte banda transportadora	108	Toma de medidas	1,3
		109	Trazado	0,45
		110	Corte	0,30
		111	Doblado	0,30
		112	Pre soldado	0,40

Tabla 21. (Continuación)

		113	Taladrado	2
		114	Soldado	0,15
		115	Pulido	1
	Estructura soporte dosificadora	116	Toma de medidas	0,5
		117	Trazado	2
		118	Corte	1,30
		119	Doblado	0,3
		120	Pre soldado	0,4
		121	Taladrado	2
		122	Soldado	0,3
		123	Pulido	0,5
	Tornillos de soporte	124	Toma de medidas	0,15
		125	Montaje	0,30
	Tapas laterales de la banda transportadora	126	Toma de medidas	2
		127	Trazado	1
		128	Corte plasma	0,5
		129	Doblado	1
		130	Pre soldado	0,5
		131	Taladrado	2
		132	Limado	1
133		Pulido	2	
Sistema de roscado	Boquilla de roscado	134	Toma de medidas	1
		135	Corte	1

Tabla 21. (Continuación)

		136	Mecanizado	1,3
		137	Soldado	0,15
		138	Limado	0,15
		139	Pulido	2
	Roscador neumático	140	Montaje	0,3
Sistema neumático	Cilindros neumáticos	141	Toma de medidas	0,15
		142	Selección	0,30
		143	Montaje	0,15
	Micro cilindros neumáticos	144	Toma de medidas	0,15
		145	Selección	0,30
		146	Montaje	0,15
	Conectores 6mm	147	Selección	0,15
		148	Montaje	0,50
	Reguladores de presión	149	Selección	0,15
		150	Montaje	0,50
	Manguera neumática	151	Selección	0,15
		152	Montaje	0,50
sistema de control y eléctrico	Electro válvulas 5/2	153	Selección	0,15
		154	Montaje	1,30
	Sensores de proximidad	155	Selección	0,15
		156	Montaje	1,30
	Sensores fotoeléctricos	157	Selección	0,15
		158	Montaje	0,50

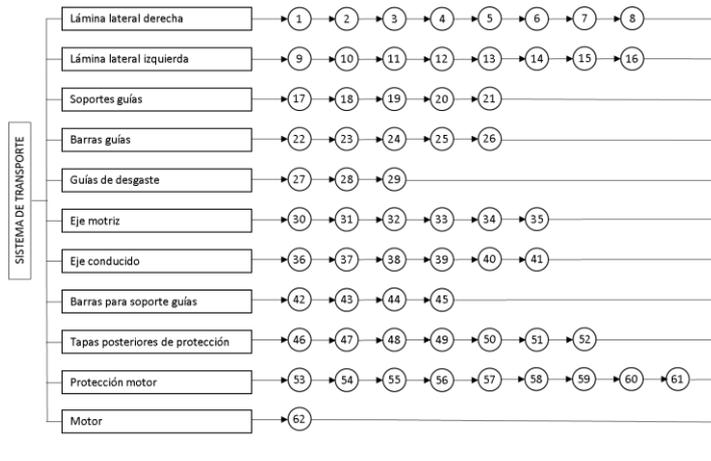
Tabla 21. (Continuación)

	PLC	159	Selección	0,15
		160	Montaje	0,30
	Motor	161	Selección	0,15
		162	Montaje	0,50
	Contactor	163	Selección	0,15
		164	Montaje	0,30
	Circuito de potencia	165	Diseño diagrama de potencia	0,50
		166	Conexión a fuente	0,30
		167	Conexión contactor	0,30
		168	Conexión relé térmico	0,15
		169	Montaje	0,3
	Circuito de control	170	Diseño diagrama de control	0,5
		171	Conexión a fuente	0,15
		172	Conexión pulsadores	0,3
		173	Conexión dispositivos	1
		174	Montaje	0,45
	Caja de control	175	Conexión circuito de potencia	0,5
		176	Conexión circuito de control	0,5
		177	Montaje	0,15
				TOTAL

Fuente: Autor

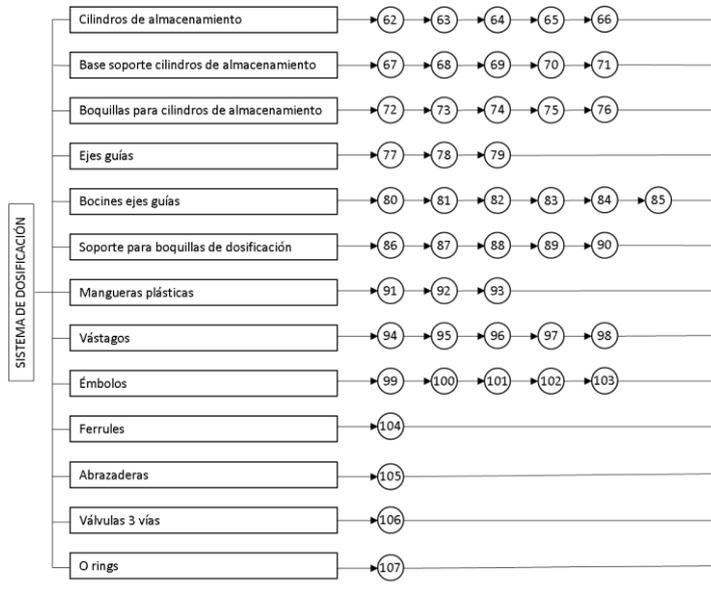
5.1.3 Flujogramas de construcción. Los flujogramas indican el proceso a seguir durante la construcción en los diferentes sistemas.

Figura 64. Flujograma del sistema de transporte.



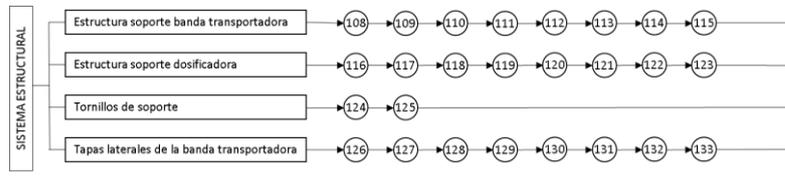
Fuente: Autor

Figura 65. Flujograma del sistema de dosificación.



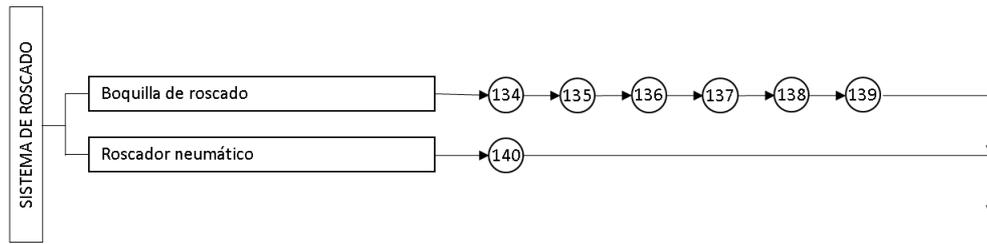
Fuente: Autor

Figura 66. Flujograma del sistema estructural.



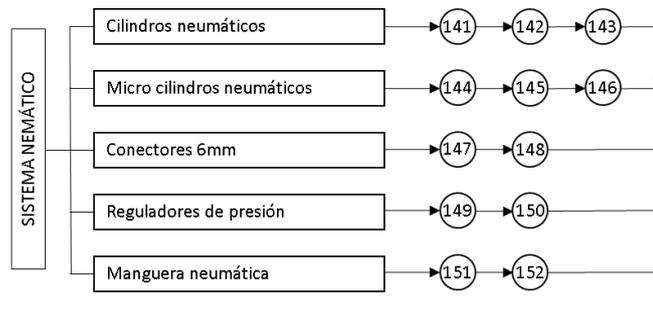
Fuente: Autor

Figura 67. Flujograma del sistema de roscado



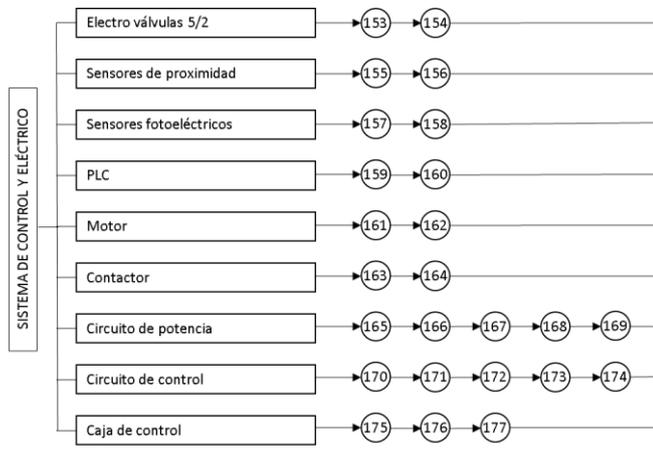
Fuente: Autor

Figura 68. Flujograma del sistema neumático



Fuente: Autor

Figura 69. Flujograma del sistema de control y eléctrico



Fuente: Autor

5.2 Montaje de la máquina envasadora

En función de cada sistema que tiene la máquina envasadora se describe a continuación los tiempos de montaje que tiene cada una.

5.2.1 Montaje del sistema de transporte.

Tabla 22. Montaje del sistema de transporte

Montaje del sistema de transporte		
Operación	Símbolo	Tiempo (h)
Transporte de elementos al taller	M1	2
Montaje de los rieles	M2	1
Montaje ejes motriz y conducido	M3	0,5
Montaje de chumaceras	M4	0,5
Montaje de piñón motriz y conducido	M5	0,3
Montaje de chavetas	M6	0,3
Montaje de guías de desgaste	M7	1
Montaje de cadena Rexnord	M8	0,3
Montaje de soporte guías	M9	0,2
Montaje de barras guías	M10	0,2
Montaje del Motor	M11	0,3
Ajuste de pernos	M12	1
Subtotal		9,20

Fuente: Autor

5.2.2 Montaje del sistema de dosificación.

Tabla 23. Montaje del sistema de dosificación

Montaje del sistema de dosificación		
Operación	Símbolo	Tiempo (h)
Transporte de elementos al taller	M13	3

Tabla 23. (Continuación)

Montaje de los cilindros de almacenamiento	M14	2
Montaje ejes guías	M15	0,3
Montaje de chumaceras	M16	0,5
Montaje de bocines	M17	0,3
Montaje de soporte para boquillas	M18	0,3
Montaje de boquillas	M19	1
Montaje de soporte para cilindro neumático	M20	0,3
Montaje de cilindros neumáticos de almacenamiento	M21	1
Montaje cilindro neumático para boquillas	M22	0,2
Montaje de accesorios inoxidables	M23	0,3
Ajuste de pernos	M24	1
Subtotal		11,40

Fuente: Autor

5.2.3 Montaje del sistema estructural.

Tabla 24. Montaje del sistema estructural

Montaje del sistema estructural		
Operación	Símbolo	Tiempo (h)
Transporte de elementos al taller	M25	1
Montaje de la estructura para el transporte	M26	0,3
Montaje de la estructura para la dosificación	M27	1
Montaje de los elementos de transporte	M28	0,3
Montaje de los elementos de dosificación	M29	1

Tabla 23. (Continuación)

Ajuste de pernos	M30	1
Subtotal		5

Fuente: Autor

5.2.4 Montaje del sistema de roscado.

Tabla 25. Montaje del sistema de roscado

Montaje del sistema de roscado		
Operación	Símbolo	Tiempo (h)
Transporte de elementos al taller	M31	0,3
Montaje boquilla de roscado	M32	0,15
Montaje al sistema de aire comprimido	M33	0,30
Subtotal		1,15

Fuente: Autor

5.2.5 Montaje de automatización

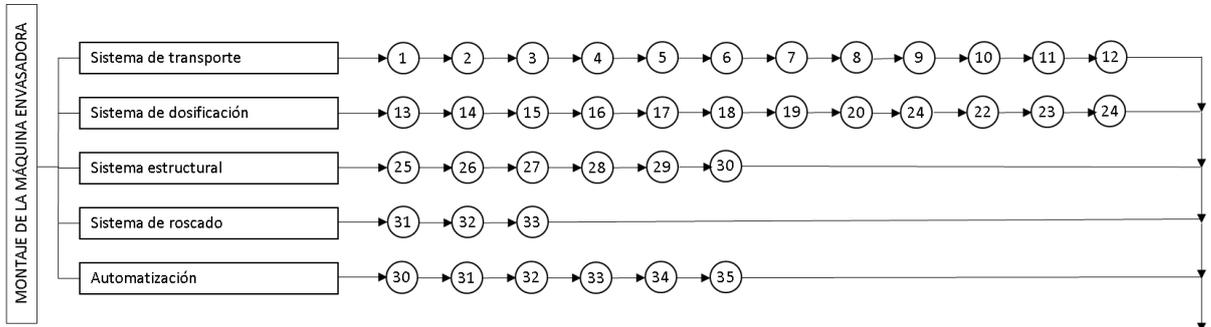
Tabla 26. Montaje de automatización

Montaje de automatización		
Montaje	símbolo	Tiempo (h)
Transporte de elementos al taller	M34	2
Montajes dispositivos electrónicos	M35	5
Montaje sistema de control	M36	1
Montaje panel de control	M37	0,3
Montaje sistema de potencia	M38	0,3
Ajuste de pernos	M39	0,5
Subtotal		9,50

Fuente: Autor

5.2.6 Flujograma montaje de la máquina envasadora.

Figura 70. Flujograma montaje de la máquina envasadora



Fuente: Autor

A continuación, se muestra el tiempo total de construcción y montaje de la máquina envasadora.

Tabla 27. Tiempo total de construcción y montaje

Tiempo de construcción	180,30
Tiempo de montaje	37,05
Tiempo total	217,35

Fuente: Autor

El tiempo estimado para la construcción y montaje de la máquina envasadora es de 217,35 horas, tomando una consideración una de trabajo de 4 horas diarias, es equivalente a 55 días.

5.3 Análisis de costos

Para el análisis de hay que tomar en consideración los costos directos e indirectos para determinar el costo de construcción que tiene el equipo.

5.3.1 Costos directos. Estos costos influyen directamente en la construcción de la máquina envasadora como materiales, mano de obra, equipos, herramientas y el transporte.

5.3.1.1 Costo de materiales. A continuación, se describe los diferentes materiales que se utilizó para la construcción de la máquina envasadora.

Tabla 28. Costo de materiales

Descripción	Unidad	Precio unitario	Cantidad	Subtotal
Plancha de acero inoxidable AISI 304-2B 2400x500x2mm	m ²	90	2,2	198
Plancha de acero inoxidable AISI 304-2B 500x800x1,5mm	m ²	30	5,5	165
Tubo de acero inoxidable 316L 4x1/8"	Kg	1200	0,2	240
Tubo cuadrado de acero inoxidable AISI 304 de 1 1/2 in x 2mm	Kg	83,6	3,5	292,6
Perfil L de acero inoxidable 304L 2x1/8"	Kg	78,61	1	78,61
Perfil L de acero inoxidable 304L 2x3/16mm	kg	18	1	18
Barrilla inoxidable 304L 1/4"	kg	12	1	12
Nylon 2000x140x12mm	Kg	60	3	180
Nylon 120mm	Kg	16	1,4	22,4
Nylon 40mm	kg	16	0,1	1,6
Chumacera SSUFCFL 205-16 LDK 1"	U	48	4	192
Chumacera SSUFCFL 205-16 LDK 7/8"	U	50	4	200
Válvula Inoxidable 316L Tipo T 2 vías 1"	U	150,5	3	451,5
Tee Clamp AISI 316 L inoxidable	U	18	3	54
Ferrul SS-304 inoxidable	U	4,8	15	72

Tabla 28. (Continuación)

Abrazadera SS-304 inoxidable	U	6,8	30	204
Empaque 1"	U	1,4	9	12,6
Cadena inoxidable Rexnord SS815-K325 austenítico	U	225	2	450
Motor Weg Trifásico W22 de 0,5 HP	U	220	1	220
Caja reductora Marvel i=40	U	180	1	180
Eje de acero inoxidable AISI 304 1"x830mm	Kg	28	2	56
Eje de acero inoxidable AISI 304 2 1/4"x450mm	Kg	32	2	64
Arandelas inoxidables 304 3/8"	U	0,06	62	3,72
Arandelas de presión inoxidable M10	U	0,05	35	1,75
Perno inoxidable 3/8 x 2 1/2 UNC	U	0,51	35	17,85
Tuercas Inoxidable 3/8 RG	U	0,09	35	3,15
Arandelas inoxidables 304 5/16"	U	0,04	5	0,2
Arandelas de presión inoxidable M8	U	0,04	6	0,24
Perno inoxidable 5/16 x 1 UNC	U	0,15	6	0,9
Tuercas Inoxidable 5/16 RG	U	0,07	6	0,42
Machuelo Japón RG 5/16	U	6,7	1	6,7
Machuelo Japón RG 1/2	U	10	1	10
Lija super final 1200	U	2,6	4	10,4
Machuelo Japón RG 3/8	U	9	2	18
Machuelo Japón RG 7/16	U	18	2	36
Perno inoxidable 7/16 x 1 1/2 UNC	U	0,9	40	36
Tuercas Inoxidable 7/16 RG	U	0,2	40	8

Tabla 28. (Continuación)

Arandelas inoxidable 304 7/16"	U	0,07	40	2,8
O-ring silicona	U	1	12	12
Retenedor NBR de alta densidad 105x90mm alimenticio	U	3	15	45
Arandelas de presión inoxidable 1/2	U	0,36	6	2,16
Perno inoxidable Allen 6x20mm	U	0,14	8	1,12
Tuercas Inoxidable 6mm	U	0,07	8	0,56
Tuercas Inoxidable 12mm UNC	U	0,28	6	1,68
Manguera de polietileno alta densidad alimenticia 1"	U	7	20	140
PLC Siemens S7-1200	U	1	709	709
Módulo de expansión Siemens SM1222	U	1	208	208
Fuente Siemens SITOP 24V	U	1	280	280
Guarda motor Siemens Sirius 10A	U	1	64	64
Variador de frecuencia Siemens SINAMICS V20 1HP	U	1	270	270
Relé	U	17	10	170
Electroválvula S200 5/2 - 1/4"Monoestable 24 VDC	U	59	10	590
Micro cilindro AIRTAC MIC 25x250mm G	U	85,5	5	427,5
Actuador neumático Airtac SI63x250	U	186	5	930
Actuador neumático Airtac SI63x200	U	170	2	340
Canaletas 40x40	m	5,5	2	11
Cable de control 4x22 AWG flexible	m	1,3	10	13
Manifold S100 para 5 estaciones	U	15	2	30

Tabla 28. (Continuación)

Silenciador bronce sinterizado 1/4	U	2,64	10	26,4
Tapón 1/4	U	1,33	6	7,98
Regulador de flujo 1/8"x6mm	U	6,05	10	60,5
Racor recto 1/4"x6mm	U	1,6	22	35,2
Pasamuros 6mm	U	3,5	24	84
Pulsador 22mm simple	U	1,75	2	3,5
Selector cams 2pos 22mm	U	2	2	4
Luz piloto Led roja y verde	U	1,6	6	9,6
Cable concéntrico 3x12 AWG	m	0,5	15	7,5
Atornillador neumático Campbell Hausfeld CL252100AV	U	1	100	100
Sensor de proximidad CS1-J		22	10	220
Subtotal				8324,14

Fuente: Autor

5.3.1.2 Costo de mano de obra. Para calcular el coto de la mano de obra se toma en consideración el salario hay para el sector metal mecánica.

Tabla 29. Costo de mano de obra

Descripción	Salario real/hora	Horas-hombre	Subtotal
Tornero	3,5	90	315
Soldador	3,5	35	122,5
Electricista especializado	3,5	9	31,5
Maestro especializado	3,5	80	280
Ayudante	3,5	70	245
		Subtotal	994

Fuente: Autor

5.3.1.3 Costos de equipos y herramientas

Tabla 30. Costo de equipos y herramientas

Descripción	Costo/hora	Horas de equipo	Subtotal
Cortadora por plasma	4,5	2,5	11,25
soldadora de TIG	4,5	12	54
Soldadora de arco	1,5	35	52,5
Torno	1,35	192	259,2
Baroladora automática	2	1	2
Dobladora automática	1,75	4	7
Cizalla automática	1,5	3	4,5
Prensa de banco	0,8	4,5	3,6
Cierra manual	1,15	10	11,5
Plegadora manual	1,5	1,5	2,25
Taladro manual	1,31	15	19,65
Taladro de pedestal	1,75	12	21
Flexómetro	0,8	8	6,4
Calibrador pie de rey	0,9	25	22,5
Escuadra	0,85	6	5,1
Amoladora	1,5	35	52,5
Esmeril	1,2	3	3,6
Machuelos	0,8	5	4
Herramientas menores	1	190	190
Subtotal			732,55

Fuente: Autor

5.3.1.4 Costo por transporte. El costo por transporte de materiales y de la máquina es de 100 dólares.

5.3.1.5 Costos totales directos

Tabla 31. Costos totales directos

Detalle	Valor
Costo de materiales	8324,14
Costo de mano de obra	994
Costo de equipos y herramientas	732,55
Costo de transporte	100
TOTAL	10150,69

Fuente: Autor

5.3.2 Costos indirectos. Aquí intervienen los costos ingenieriles como el diseño, supervisión y construcción de la máquina envasadora.

Tabla 32. Costos indirectos

Costos ingenieriles	Horas	Costo	Subtotal
Diseño	40	8	320
Supervisión	50	8	400
Subtotal			720

Fuente: Autor

5.3.3 Costo total. Es la suma de los costos directos e indirectos de la máquina envasadora.

Tabla 33. Costo total

Costo directo	10150,69
Costo indirecto	720
Total	10870,69

Fuente: Autor

La máquina envasadora de yogurt tiene un costo total de 10870,69 dólares.

5.4 Pruebas de funcionamiento

Estas pruebas tienen como finalidad determinar el correcto funcionamiento de los diferentes dispositivos en cada una de las etapas de envasado y así poder verificar óptimo el desempeño de la máquina envasadora de yogurt.

5.4.1 Revisión de los dispositivos neumáticos y electrónicos.

Tabla 34. Ensayo de funcionamiento 1

PROCESO: ENSAYO 1
<p>Objetivo de las pruebas</p> <p>Comprobar según las especificaciones técnicas que los dispositivos neumáticos y electrónicos funcionen correctamente.</p>

Tabla 34. (Continuación)

Actividades:

Verificar que el suministro de aire comprimido sea el adecuado para que los dispositivos neumáticos funcionen correctamente.

Revisar que los actuadores neumáticos funcionen adecuadamente.

Verificar el suministro de energía eléctrica dispositivos electrónicos sea el correcto.

Verificar que los sensores inductivos y fotoeléctrico estén en correcto funcionamiento.

Revisar el ancho entre barras guías sea el adecuado según el tamaño del envase.

Comprobar el correcto funcionamiento de la banda transportadora.

Colocar los envases sobre la banda transportadora y verificar su correcto deslizamiento sobre esta.

Verificar que los minicilindros neumáticos clasifiquen los envases de 3 en tres al momento que llegue al sistema de dosificación.

Verificar que el deslizamiento del cabezal de dosificación sea el adecuado según el tamaño del envase a envasar.

Cortar el suministro de energía eléctrica y neumática.

Nota: Si los envases no se clasifican de 3 en tres 3, regular el espacio entre los minicilindros neumáticos y verificar que el sensor fotoeléctrico este funcionando adecuadamente.

Tabla 34. (Continuación)

<p>Entradas</p> <p>Aire comprimido 6-8 bares.</p> <p>Energía eléctrica 220V/60Hz</p> <p>Envases vacíos de 1000ml y 2000ml.</p> <p>Sensores de proximidad.</p> <p>Sensor fotoeléctrico.</p> <p>Cilindros neumáticos de doble efecto.</p>
<p>Salidas</p> <p>Selección de tamaño de envase</p> <p>Transporte de envases</p>

Fuente: Autor

5.4.2 *Revisión de cantidad de liquido*

Tabla 35. Ensayo de funcionamiento 2

<p>PROCESO: ENSAYO 2</p>

Tabla 35. (Continuación)

<p>Objetivo de las pruebas</p> <p>Comprobar que la cantidad a suministrar en los envases sea la adecuada.</p>
<p>Actividades:</p> <p>Verificar que el suministro de aire comprimido sea el adecuado para que los dispositivos neumáticos funcionen correctamente.</p> <p>Revisar que los actuadores neumáticos funcionen adecuadamente.</p> <p>Verificar el suministro de energía eléctrica dispositivos electrónicos sea el correcto.</p> <p>Verificar que los sensores inductivos y fotoeléctrico estén en correcto funcionamiento.</p> <p>Comprobar el correcto funcionamiento de la banda transportadora.</p> <p>Colocar los envases sobre la banda transportadora y verificar su correcto deslizamiento sobre esta.</p> <p>Revisar el correcto accionamiento de la valvula de 3 vias para succión y descarga del producto.</p> <p>Verificar que el producto succionado sea el correcto.</p> <p>Verificar que los minicilindros neumáticos abran y cierren las boquillas de dosificación.</p> <p>Verificar que el deslizamiento del cabezal de dosificación sea el adecuado según el tamaño del envase a envasar.</p> <p>Cortar el suministro de energía eléctrica y neumática.</p> <p>Nota: Si el producto dosificado es mayor o menor, es necesario regularlo por medio del desplazamiento del sensor de proximidad.</p>

Tabla 35. (Continuación)

<p>Entradas</p> <p>Aire comprimido 6-8 bares.</p> <p>Energía eléctrica 220V/60Hz</p> <p>Envases vacíos de 1000ml y 2000ml.</p> <p>Sensores de proximidad.</p> <p>Sensor fotoeléctrico.</p> <p>Cilindros neumáticos de doble efecto.</p> <p>Cabezal de dosificación.</p> <p>Transporte de envase</p>
<p>Salidas</p> <p>Selección de tamaño de envase</p> <p>Ubicación adecuada del cabezal de dosificación.</p> <p>Transporte de envases.</p> <p>Medición correcta del producto en el envase.</p>

Fuente: Autor

5.4.3 Resultados de los ensayos.

Tabla 36. Resultado de los ensayos

Pruebas de funcionamiento	Cumple	No cumple	Observaciones
Ensayo 1	X		Comprobar según las especificaciones técnicas que los dispositivos neumáticos y electrónicos funcionen correctamente.
Ensayo 2	X		Comprobar que la cantidad a suministrar en los envases sea la adecuada.

Fuente: Autor

5.4.4 Verificación de requerimientos.

Tabla 37. Porcentaje de cumplimiento

	PORCENTAJE DE CUMPLIMIENTO			
	25%	50%	75%	100%
Los envases tengan el volumen correcto				X
Fácil tapado del envase				X
Producción de al menos 10 envases por min.			X	
Cumplir con estándares de calidad				X
Ocupar el menor espacio			X	

Tabla 37. (Continuación)

Tamaños de envases (2)				X
Tapado sea correcto				X
Fácil mantenimiento			X	
Fácil operación				X
Costo del equipo bajo			X	
Total				90

Fuente: Autor

5.5 Conclusiones

La máquina envasadora está constituida en su totalidad de material acero inoxidable AISI 304L y 316L, cumpliendo así con lo estipulado en la norma NTE INEN 2395:2011 Segunda revisión 2011-07 que hace referencia al manejo y procesamiento de productos fermentados (yogurt) destinados al consumo directo de los usuarios.

Mediante el diseño conceptual se determinó que la mejor alternativa es una máquina envasadora lineal volumétrica, que cumple con las especificaciones y requerimientos impuestos por el cliente.

La automatización proporciona una optimización de los procesos de producción que reduciendo costos y un mayor control de los parámetros de calidad y seguridad alimentaria.

El proceso de dosificación es totalmente automatizado, por lo que:

- Suministra la cantidad adecuada de yogurt en el envase.

- Evita que se desperdicie el yogurt.
- Evita que el yogurt se contamine, cumpliendo así con los estándares de calidad.

La máquina envasadora de yogurt es tiene una capacidad de producir 21 envases por minuto de 1000 ml., por lo que su producción aumento el doble. Además, tiene la capacidad de producir 15 envases por minuto de 2000 ml., su producción aumento en un 50%.

Las diferentes máquinas envasadoras existentes hoy en el mercado sobre pasan los 20000 dólares, una máquina de igual características tiene un costo aproximado de 25000 dólares en el mercado, mientras que la máquina construida tiene un costo aproximado de 11000 dólares por lo que la fábrica tiene un ahorro de 14000 dólares.

Con esta máquina envasadora se pudo reducir la mano de obra, ya que para su operación es necesario una sola persona.

5.6 Recomendaciones

Revisar que todos los dispositivos neumáticos y electrónicos estén conectados adecuadamente y funcionen correctamente.

Limpiar con algún desinfectante o con agua caliente el sistema de dosificación antes y después de ser utilizados, para evitar cualquier contaminación del producto.

Revisar el manual de operación y mantenimiento para evitar que la máquina envasadora sufra algún desperfecto o daño alguno.

Regular las guías para envases de la banda transportadora antes de colocar los envases manualmente sobre la banda transportadora.

En caso de que haya algún problema durante el proceso de envasado, pulsar inmediatamente el pulsador de emergencia.

El operario debe tener conocimiento del manual de operación, por lo que se recomienda que sea una persona calificada para realizar dicho trabajo, por seguridad de la máquina y del operador.

BIBLIOGRAFÍA

- AIRTAC.** *Pneumatic Airtac Catalogue*. Singapore: Airtac, 2016. pp. 31-155-185.
- AQUINO, Miguel.** *Diseño de elementos de máquinas*. 1ra-edi. Riobamba, 2014. pp. 15-45-78.
- ASTIMEC.** *Llenadora de botellas lineal*. [En línea]. [Consulta: 19 de Noviembre del 2015.]. Disponible en: <http://www.astimec.net/llenadora-de-botellas.html>.
- LDk.** *Mounted Bearing Units & pillow Block Bearings*. China. 2011. pp. 130.
- VILLAMIL, Enrique & GARCÍA, Miguel.** *Introducción al proyecto de ingeniería*. Buenos Aires. Diciembre de 2003. pp. 12-15.
- EQUITEK.** *Máquina envasado de productos líquidos*. [En línea] 2013. [Consulta: 19 de Noviembre del 2015.]. Disponible en: <http://www.equitek.com.mx/maquina-ensado/>.
- NTE INEN 2395.** *Leches fermentadas requisitos*. 1era-edi. Quito: Inen, 2011.
- NTE INEN 2634.** *Disposición de desechos plásticos post-consumo requisitos*. 1era-edi. Quito: Inen, 2012.
- GARCÍA, Rodolfo.** *Ingeniería concurrente y tecnologías de la información*. Vol 2. UANL, 2004. pp. 56.
- KHURMI, R. & GUPTA, J.** *Mechanical desing*. 1ra-edi. New Delhi: Eurasia Publishing House LTD, 2005. pp. 354-471.
- LABARTA, Jose.** *Automatismos industriales*. España : Donostiarra, 2008. pp. 117-151-217.
- MICRO.** *Ciindros neumáticos*. pp. 3-4.
- MONZÓ, Raul.** *Automatismos industriales*. Valencia: Naul Libres, 2014. pp. 121-137-149-179.
- REXNORD.** *Cadenas*. Miami, 2010. pp. 11-65.
- DOUGLAS, Richard & NISBET, Keith.** *Diseño en ingeniería mecánica de Shigley*. 8va-edi. México: McGraw-Hill, 2008. pp. 67-205-257-343-598-933.
- WEG.** *Motores Trifásicos WEG 22 catálogo*. Brazil, 2016. pp. 48.

