

# **ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL**

## **FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA**

### **DISEÑO DE UNA DOSIFICADORA DE JABONES DE GLICERINA CON CAPACIDAD DE SETENTA Y DOS UNIDADES POR MINUTO**

#### **PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO MECÁNICO**

**IVÁN ALFREDO VALAREZO CALLE**  
ivanzaruma@gmail.com

**GABRIEL GERARDO VIZUETE VEGA**  
hurcurupai@hotmail.com

**DIRECTOR: MSc. Jaime Raúl Vargas Tipanta**  
jvargas@server.epn.edu.ec

**CO-DIRECTOR: MSc. Mario Germán Granja Ramírez**  
mgranja@server.epn.edu.ec

**Quito, mayo de 2016**

## DECLARACIÓN

Nosotros, Iván Alfredo Valarezo Calle y Gabriel Gerardo Vizuite Vega, declaramos bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de nuestra autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que hemos consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración cedemos nuestros derechos de propiedad intelectual correspondientes a este trabajo, a la Escuela Politécnica Nacional, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normatividad vigente.

---

Iván Alfredo Valarezo Calle

---

Gabriel Gerardo Vizuite Vega

## CERTIFICACIÓN

Certificamos que el presente trabajo fue desarrollado por Iván Alfredo Valarezo Calle y Gabriel Gerardo Vizuete Vega, bajo nuestra supervisión.

---

MSc. Jaime Vargas

DIRECTOR DEL PROYECTO

---

MSc. Mario Granja

CO-DIRECTOR DEL PROYECTO

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a DIOS, por brindarme la vida, por haber conjugado todo a su debido tiempo y que se pueda culminar con éxito esta tan ansiada etapa de mi vida.

Agradezco a mis padres, hermanas, tías, Doña Gladis, mi amigo Gabriel y demás familiares y personas que han estado involucradas en mi vida académica. A mi profesor de infancia, Don Lucho Alvarado (+), quien creyó en mí marcando así un punto de inflexión en mi vida escolar y en mi futuro profesional.

Agradezco a mi esposa, que me ha dado su apoyo incondicional en la ejecución de este proyecto. A mi hija, que ha sido esa luz que me inspira a seguir adelante y a alcanzar nuevas metas.

Agradezco al Ing. Jaime Vargas por su apoyo y ayuda brindada con su alta experiencia y conocimientos. A la Gloriosa Facultad de Ingeniería Mecánica y a todos sus docentes por guiarme acertadamente a través de toda la carrera.

IVÁN VALAREZO

Agradezco a mis padres, a mi hermano y familia entera por haberme apoyado siempre en todo lo que hago, impulsándome para ser un excelente profesional, culminando un paso más de mi vida, recalcando los valores éticos y morales para ser una mejor persona. Y con gran cariño a mí tío Roland Vega y abuelo Tarquino Vega (+) que fueron mis guías, inspiración y ejemplos de vida.

Agradezco a mi compañero y amigo Iván, con quien formamos un gran equipo de trabajo, apoyándonos mutuamente. Así también, extendo mi agradecimiento a toda su familia que me brindaron siempre su generosidad y cariño familiar.

Agradezco también a todos mis profesores, con especial énfasis al Ing. Jaime Vargas, quién siempre ha demostrado su preocupación por formar profesionales de calidad, transmitiendo su experiencia y aliento.

Finalmente agradezco a mi jefe, Señor Luis Nájera, quién me demostró que el título se lo gana en la calidad de trabajo entregado, y que un título es para generar más empleo, antes que ocupar uno.

GABRIEL VIZUETE

## DEDICATORIA

Dedico el presente trabajo de titulación y todo el esfuerzo a:

Mi madre, Margot Calle, quien siempre ha estado pendiente de mí, que me ha brindado su amor y ha dedicado su vida entera al crecimiento y desarrollo de mis hermanas y mi persona. ¡Cumplimos nuestro sueño, madre!

Mi padre, Jorge Iván Valarezo, quien ha dedicado su esfuerzo extenuante en la manutención de su familia con gran dedicación y responsabilidad. No desistamos padre: ¡Lograremos y alcanzaremos muchos proyectos más!

A mi hija, Joaquina Valarezo, que sin saberlo desde su nacimiento se convirtió en mi inspiración para dar ese esfuerzo adicional necesario.

A mi esposa y mejor amiga, Gabriela Castro, que con su empatía, comprensión y amor ha diseñado sobre mí el camino para alcanzar nuevas metas.

IVÁN VALAREZO

Dedico el presente trabajo de titulación y todo el esfuerzo a:

Mis padres que esperaron la culminación de este paso para yo poder seguir dando más pasos en la vida profesional.

A todo aquel que tome este libro, que les pueda brindar la información y guía necesaria para sus proyectos y estudios.

GABRIEL VIZUETE

## CONTENIDO

DECLARACIÓN.....	ii
CERTIFICACIÓN.....	iii
AGRADECIMIENTO.....	iv
DEDICATORIA.....	v
CONTENIDO.....	vi
ÍNDICE DE FIGURAS .....	x
ÍNDICE DE TABLAS .....	xii
ÍNDICE DE ANEXOS .....	xiv
SIMBOLOGÍA.....	xv
RESUMEN.....	xviii
PRESENTACIÓN .....	xix
CAPÍTULO 1. GENERALIDADES .....	20
1.1. ANTECEDENTES .....	20
1.2. JUSTIFICACIÓN .....	20
1.3. OBJETIVOS .....	21
1.3.1. OBJETIVO GENERAL .....	21
1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	22
1.4. GLICERINA.....	22
1.4.1. PROPIEDADES Y APLICACIONES.....	22
1.5. JABÓN BASE DE GLICERINA .....	23
1.6. MÁQUINAS DOSIFICADORAS .....	24
1.6.1. TIPOS DE DOSIFICADORAS .....	24
1.6.2. DOSIFICADORAS VOLUMÉTRICAS .....	24
1.6.3. DOSIFICADORAS GRAVIMÉTRICOS.....	27
CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO .....	28
2.1. INTRODUCCIÓN .....	28
2.2. REOLOGÍA .....	28
2.2.1. REOLOGÍA .....	28
2.2.2. ANÁLISIS REOLÓGICO .....	28
2.2.3. PROPIEDADES REOLÓGICAS.....	28
2.2.4. TIPOS DE FLUIDOS .....	29

2.2.5.	ESTUDIO REOLÓGICO DE LA SOLUCIÓN DE GLICERINA EMPLEADA PARA LA ELABORACIÓN DE JABONES DEL PRESENTE PROYECTO.....	31
2.3.	SISTEMAS TÍPICOS DE UNA MÁQUINA DOSIFICADORA .....	31
2.3.1.	SISTEMA DE ALIMENTACIÓN DE PRODUCTO .....	32
2.3.2.	SISTEMA DE DOSIFICACIÓN.....	34
2.3.3.	SISTEMA DE CALENTAMIENTO .....	35
2.3.4.	SISTEMA DE AVANCE DE PRODUCTO ENVASADO.....	37
2.4.	DOCUMENTO DE ESPECIFICACIÓN.....	38
CAPÍTULO 3.	REQUERIMIENTOS DE DISEÑO Y SELECCIÓN DE ALTERNATIVA .....	40
3.1.	PARÁMETROS DE DISEÑO .....	40
3.2.	DOCUMENTO DE ESPECIFICACIÓN DEL PROTOTIPO.....	40
3.3.	ESTUDIO DE ALTERNATIVAS .....	42
3.3.1.	SISTEMA DE DOSIFICACIÓN.....	42
3.3.2.	SISTEMA DE CALENTAMIENTO .....	48
3.3.3.	SISTEMA DE AVANCE .....	50
3.4.	DEFINICIÓN .....	52
3.5.	PROTOCOLO DE PRUEBAS .....	53
3.5.1.	PRUEBAS FÍSICAS .....	53
3.5.2.	PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO EN VACIO O PRE- COMISIONADO .....	53
3.5.3.	PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO CON CARGA O COMISIONADO .....	53
CAPÍTULO 4.	DISEÑO DE ELEMENTOS A CONSTRUIRSE Y SELECCIÓN DE ELEMENTOS NORMALIZADOS .....	54
4.1.	MOLDES .....	54
4.1.1.	MOLDE PLÁSTICO.....	54
4.1.2.	BANDEJA BASE .....	55
4.2.	BLOQUE DOSIFICADOR .....	57
4.2.1.	DISEÑO GEOMÉTRICO DEL BLOQUE DOSIFICADOR .....	59
4.2.2.	DETERMINACIÓN DE LOS CICLOS DE OPERACIÓN. ....	62
4.2.3.	CARGA TÉRMICA .....	63

4.3.	EJE DOSIFICADOR.....	68
4.3.1.	CÁLCULO POR RESISTENCIA ESTÁTICA DEL EJE DOSIFICADOR .....	70
4.3.2.	CÁLCULO POR RESISTENCIA A FATIGA DEL EJE DOSIFICADOR .....	73
4.3.3.	VON MISES .....	77
4.3.4.	FACTOR DE SEGURIDAD ESTÁTICO .....	78
4.3.5.	RESISTENCIA A LA FATIGA BAJO ESFUERZOS FLUCTUANTES .....	78
4.4.	CILINDROS NEUMÁTICOS.....	80
4.4.1.	CILINDROS NEUMÁTICOS DE UNIDAD DOSIFICADORA.....	80
4.4.2.	CILINDROS NEUMÁTICOS DEL SISTEMA DE AVANCE.....	81
4.5.	BUJES.....	83
4.5.1.	BUJES DE DOSIFICACIÓN .....	83
4.5.2.	BUJES DE CÁMARA DE DOSIFICACIÓN.....	84
4.6.	EMBOLOS DOSIFICADORES .....	84
4.6.1.	DIÁMETRO DE VÁSTAGO .....	85
4.6.2.	CALCULO DE RESISTENCIA AL PANDEO .....	87
4.7.	SELECCIÓN DE CHUMACERAS .....	89
4.7.1.	CARGA ESTÁTICA EQUIVALENTE .....	89
4.7.2.	CAPACIDAD DE CARGA ESTÁTICA REQUERIDA $C_o$ .....	90
4.8.	SELECCIÓN DE GUÍA CON PATINES.....	91
4.8.1.	PRECARGA Y RIGIDEZ .....	91
4.8.2.	CAPACIDAD DE CARGA ESTÁTICA .....	92
4.8.3.	VIDA NOMINAL BÁSICA $L_{10h}$ .....	93
4.9.	TOLVA .....	94
4.10.	ESTRUTURA SOPORTE.....	98
4.11.	CONSUMO Y FLUJO DE AIRE .....	99
CAPÍTULO 5.	CONSTRUCCIÓN, MONTAJE Y PRUEBAS DE CAMPO .....	102
5.1.	INTRODUCCIÓN .....	102
5.2.	RECURSOS HUMANOS.....	102
5.3.	MÁQUINAS - HERRAMIENTAS .....	102
5.4.	MATERIALES .....	103

5.5. INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN Y CONTROL .....	103
5.6. CONSTRUCCIÓN .....	103
5.6.1. MECÁNICA .....	104
5.6.2. NEUMÁTICA .....	104
5.6.3. INSTRUMENTACIÓN Y CONTROL.....	104
5.7. PRUEBAS DE CAMPO .....	105
CAPÍTULO 6. ANÁLISIS DE COSTOS DEL PROYECTO.....	106
6.1. INTRODUCCIÓN .....	106
6.2. COSTOS DIRECTOS.....	106
6.2.1. SISTEMA DE ALIMENTACIÓN DE MOLDES.....	107
6.2.1. ESTRUCTURA PARA BLOQUE DOSIFICADOR .....	109
6.2.2. SISTEMA DE DOSIFICACIÓN.....	110
6.2.3. TOLVA DE ALIMENTACIÓN.....	113
6.2.4. CONEXIONES NEUMÁTICAS Y ELÉCTRICAS .....	114
6.2.5. RESUMEN DE CUADRO DE COSTOS.....	115
6.3. COSTOS INDIRECTOS .....	116
6.3.1. DISEÑO, SIMULACIÓN Y PROGRAMACIÓN .....	116
6.4. COSTO TOTAL DEL PROYECTO .....	116
CAPÍTULO 7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	117
7.1. CONCLUSIONES.....	117
7.2. RECOMENDACIONES .....	119
BIBLIOGRAFÍA.....	121
ANEXOS.....	123

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1: Pirámide de elaboración de jabones de glicerina.....	21
Figura 1-2: Esquema de dosificadora de tornillo sin fin.....	25
Figura 1-3: Dosificadora de banda rodante.....	25
Figura 1-4: Dosificadora de compuerta rotativa.....	26
Figura 1-5: Dosificadora de émbolo.....	26
Figura 1-6: Dosificadora gravimétrica formada por una dosificadora de compuerta rotativa, una dosificadora de tornillo sin fin y el pesado de la tolva.....	27
Figura 2-1: Curvas de fluidos newtonianos y no newtonianos independientes del tiempo.....	30
Figura 2-2: Curvas de fluidos no newtonianos dependientes del tiempo.....	30
Figura 2-3: Tolvas de alimentación consolidadas a la máquina dosificadora.....	33
Figura 2-4: Máquina dosificadora con sistema de alimentación por elevador.....	34
Figura 2-5: Sistema de calentamiento por encamisado.....	36
Figura 2-6: Resistencia eléctrica de inmersión recta tubular.....	36
Figura 2-7: Resistencia eléctrica en forma de 3U.....	37
Figura 2-8: Avance por banda transportadora.....	38
Figura 2-9: Avance en carrusel.....	38
Figura 3-1: Actuador neumático giratorio.....	46
Figura 3-2: Mecanismo biela-manivela.....	46
Figura 4-1: Dimensión de moldes plásticos en milímetros.....	55
Figura 4-2: Propiedades mecánicas del nylon 6 (duralon).....	56
Figura 4-3: Esquema general de la bandeja base.....	57
Figura 4-4: Propiedades mecánicas del duraluminio seleccionado.....	58
Figura 4-5: Dimensiones generales del bloque dosificador.....	62
Figura 4-6: Mallado del bloque a simular térmicamente.....	63
Figura 4-7: Simulación térmica de escenario 1.....	64
Figura 4-8: Simulación de flujo de calor de escenario 1.....	65
Figura 4-9: Simulación térmica de escenario 2.....	65
Figura 4-10: Simulación de flujo de calor de escenario 2.....	66
Figura 4-11: Simulación térmica de escenario 3.....	66
Figura 4-12: Simulación de flujo de calor de escenario 3.....	67

Figura 4-13: Medidas generales del eje dosificador .....	69
Figura 4-14: Fuerzas actuantes sobre actuador neumático giratorio .....	69
Figura 4-15: Diagramas de cuerpo libre, fuerza cortante y momento flector del eje .....	70
Figura 4-16: Sección del eje dosificador .....	71
Figura 4-17: Estado de esfuerzo plano de la sección analizada .....	72
Figura 4-18: Factores de modificación de superficies según el acabado superficial para el acero .....	74
Figura 4-19: Diagrama para concentración de esfuerzos $K_t$ en barra circular con entalle .....	76
Figura 4-20: Sensibilidad de la ranura $q$ con respecto al radio de entalle .....	76
Figura 4-21: Esfuerzo cíclico típico fluctuante .....	78
Figura 4-22: Criterio de Goodman modificado.....	79
Figura 4-23: Fuerzas teóricas desarrolladas por cilindros compactos ADN-EL ...	80
Figura 4-24: Conjunto émbolo-vástago dosificador .....	85
Figura 4-25: Coeficientes de pandeo .....	88
Figura 4-26: Factores de seguridad estática .....	90
Figura 4-27: Clases de precarga .....	91
Figura 4-28: Factores de seguridad estática .....	93
Figura 4-29: Factores de condiciones de carga .....	93
Figura 4-30: Factores correspondiente al número de cargas por riel .....	94
Figura 4-31: Cuerpo de tolva.....	95
Figura 4-32: Distribución de presiones y fuerzas sobre la pared de la tolva .....	95
Figura 4-33: Mallado de la tolva .....	96
Figura 4-34: Esfuerzo de Von Mises en tolva.....	96
Figura 4-35: Factor de seguridad de tolva.....	96
Figura 4-36: Máquina dosificadora .....	97
Figura 4-37: Fuerzas aplicadas en la estructura soporte .....	98
Figura 4-38: Esfuerzos de Von Mises en estructura soporte.....	98
Figura 4-39: Factor de seguridad de estructura soporte .....	99

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2-1: Modelo de documento de especificación .....	39
Tabla 3-1: Especificaciones técnicas solicitadas por cliente e ingeniero.....	41
Tabla 3-2: Selección de tipo de máquina dosificadora. ....	45
Tabla 3-3: Selección mecanismo de giro de eje de dosificación .....	48
Tabla 3-4: Selección del sistema de calentamiento .....	50
Tabla 3-5: Selección del sistema de avance. ....	52
Tabla 3-6: Definición de sistemas para máquina dosificadora de jabón de glicerina. ....	52
Tabla 4-1: Propiedades del nylon 6 .....	56
Tabla 4-2: Longitudes de cámara de dosificación .....	61
Tabla 4-3: Determinación de la altura del bloque dosificador.....	61
Tabla 4-4: Factores de confiabilidad en función de la probabilidad de supervivencia.....	75
Tabla 4-5: Fuerzas teóricas de cilindros en retroceso ADN FESTO a 2,5 [bar] ...	81
Tabla 4-6: Fuerzas teóricas de cilindros en avance ADN FESTO a 2,5 [bar].....	82
Tabla 4-7: Cumplimiento criterio esbeltez en función del diámetro del vástago ...	88
Tabla 4-8: Resultados de simulación de esfuerzos en tolva .....	97
Tabla 4-9: Resumen de simulación en estructura soporte .....	99
Tabla 4-10: Consumo de aire .....	100
Tabla 4-11: Consumo y flujo de aire total .....	101
Tabla 6-1: Tabla de materiales del sistema de alimentación de moldes .....	107
Tabla 6-2: Materia prima del sistema de alimentación de moldes.....	108
Tabla 6-3: Otros componentes del sistema de alimentación de moldes .....	109
Tabla 6-4: Elementos neumáticos del sistema de alimentación de moldes .....	109
Tabla 6-5: Tabla de materiales de la estructura para bloque dosificador .....	110
Tabla 6-6: Otros costos para estructura para bloque dosificador .....	110
Tabla 6-7: Tabla de materiales del sistema de dosificación .....	110
Tabla 6-8: Costos relacionados a perfiles metálicos inoxidables del sistema de bloque dosificador .....	112
Tabla 6-9: Costos de otros componentes para el bloque dosificador .....	112
Tabla 6-10: Costos de elementos neumáticos para el bloque dosificador .....	113

Tabla 6-11: Tabla de materiales para la tolva de alimentación .....	113
Tabla 6-12: Costos de materiales para la tolva de alimentación .....	114
Tabla 6-13: Elementos para el tablero eléctrico .....	114
Tabla 6-14: Elementos neumáticos para el control de la máquina dosificadora.	115
Tabla 6-15: Costos de materia prima .....	115
Tabla 6-16: Costos de diseño, simulación y programación .....	116
Tabla 6-17: Costos indirectos.....	116
Tabla 6-18: Costo total del proyecto.....	116

## ÍNDICE DE ANEXOS

- ANEXO A-1: Ficha técnica de base para elaborar jabón de glicerina.
- ANEXO A-2: Estudio reológico del jabón base de glicerina.
- ANEXO A-3: Simulación térmica del bloque mediante “AutoDesk Simulation Mechanical.”
- ANEXO A-4: Análisis de esfuerzos de la estructura soporte mediante “AutoDesk Inventor (Stress Analysis).”
- ANEXO A-5: Protocolo de pruebas.
- ANEXO A-6: Diagrama unifilar neumático.
- ANEXO A-7: Catálogos de elementos normalizados.
- ANEXO A-8: Hojas de proceso.
- ANEXO A-9: Planos de construcción y montaje.

## SIMBOLOGÍA

$\tau$ :	Esfuerzo cortante
$\mu$ :	Viscosidad dinámica
$\dot{\gamma}$ :	Gradiente de velocidad
F:	Fuerza
P:	Presión
A:	Área
C:	Capacidad
$V_i$ :	Volumen por unidad
N:	Número de unidades por molde
S:	Superficie
$F_t$ :	Fuerza teórica
$F_n$ :	Fuerza real o neta
$\sigma$ :	Esfuerzo
$\sigma_{adm}$ :	Esfuerzo admisible
$S_y$ :	Límite de fluencia
$S_{ut}$ :	Límite de rotura
E:	Módulo de elasticidad
J:	Momento de inercia
T:	Momento torsor
M:	Momento flector
W:	Peso
V:	Fuerza cortante
$S_e$ :	Resistencia a fatiga
$S'_e$ :	Límite de resistencia a la fatiga
$K_a$ :	Factor de superficie

$K_b$ :	Factor de tamaño
$K_c$ :	Factor de confiabilidad
$K_d$ :	Factor de temperatura
$K_e$ :	Factor de modificación por concentración de esfuerzos
$K_f$ :	Factor de esfuerzos diversos
$q$ :	Sensibilidad de la ranura
$\emptyset$ :	Diámetro
$r$ :	Radio
$\sigma'$ :	Esfuerzo de Von Mises
$\eta$ :	Factor de seguridad
$\sigma_a$ :	Amplitud del esfuerzo
$\sigma_m$ :	Esfuerzo medio
$\sigma_r$ :	Rango del esfuerzo
$v$ :	Volumen
$l$ :	Longitud
$h$ :	Altura
$n$ :	Número de unidades
$F_R$ :	Fuerza de rozamiento
$N$ :	Normal
$\lambda$ :	Grado de esbeltez
$C_c$ :	Razón real de delgadez
$L$ :	Longitud

$r$ :	Radio
$P_o$ :	Carga estática equivalente
$F_r$ :	Carga radial del rodamiento
$F_a$ :	Carga axial del rodamiento
$C_o$ :	Carga estática equivalente
$S_o$ :	Factor de seguridad estática
$P_d$ :	Carga dinámica equivalente
$f_i$ :	Factor correspondiente al número de carros por riel
$L_{10h}$ :	Vida nominal básica
$l_s$ :	Longitud de carrera
$n_c$ :	Frecuencia de carrera
$C$ :	Capacidad de carga dinámica
$Q$ :	Consumo de aire
$\dot{Q}$ :	Flujo de aire
$c$ :	Número de ciclos por minuto

## RESUMEN

El presente proyecto de titulación comprende el diseño de un sistema de dosificación de jabones de glicerina que automatice el proceso en su línea de producción, que satisfaga el requerimiento de obtener un llenado de producto con capacidad de 72 unidades por minuto, y precisión volumétrica por cámara de dosificación de 60 [cm<sup>3</sup>] a 120 [cm<sup>3</sup>].

El capítulo 1 trata sobre generalidades del sistema de dosificación a diseñar, los objetivos específicos, el estudio de la glicerina y las distintas opciones de máquinas dosificadoras.

En el capítulo 2 se presentan el marco teórico, el estudio reológico del fluido de jabón de glicerina, los sistemas típicos de una máquina dosificadora, y el documento de especificación con parámetros generales de fabricación.

El capítulo 3 expone el documento de especificación de la máquina, los parámetros considerados de diseño, el estudio de alternativas y su definición para el diseño, así como también el protocolo de pruebas.

En el capítulo 4 se presentan el diseño del prototipo y la selección de los elementos normalizados, abarca los cálculos teóricos que justifican el diseño de los elementos constitutivos de la máquina en forma analítica y numérica.

El capítulo 5 trata sobre las directrices para la construcción del prototipo, la elaboración de planos de taller y montaje y sus respectivas hojas de proceso.

En el capítulo 6 se presenta un análisis de costos enfocados en la manufactura del prototipo.

El capítulo 7 contiene las conclusiones y recomendaciones generadas en el presente proyecto de titulación.

Finalmente en los anexos se presentan los catálogos sobre las características del producto, de los elementos normalizados empleados; simulaciones, planos de taller y montaje, hojas de proceso de los elementos del prototipo diseñado y el formato del protocolo de pruebas.

## **PRESENTACIÓN**

El presente proyecto de titulación tiene como objetivo diseñar y sentar las directrices necesarias para la construcción de un sistema de dosificación de jabones de glicerina.

La empresa en donde se idealiza el proyecto hace necesario que se diseñe un prototipo que satisfaga el trabajo continuo, que necesite además de mínimas acciones de mantenimiento, con la finalidad de que por medio del mismo se obtenga una producción continua con la menor cantidad de tiempos muertos y la consiguiente eficiencia económica del área productiva.

El desarrollo de este prototipo tiene como finalidad fundamental automatizar el proceso de dosificación del jabón de glicerina, ya que el llenado manual del mismo representa una actividad monótona y repetitiva, que perfectamente puede ser realizada por una máquina de manera automática.

Además el desarrollo de esta máquina contribuye a tener una producción más limpia y eficiente, con el respectivo crecimiento tecnológico del área productiva de la empresa y del sector industrial ecuatoriano.

# **CAPÍTULO 1.**

## **GENERALIDADES**

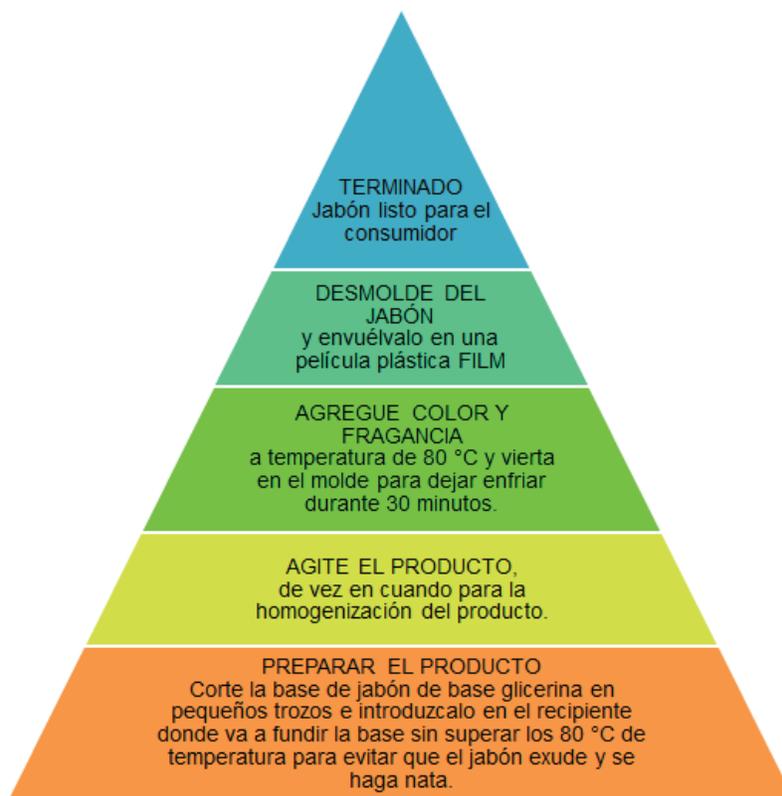
### **1.1. ANTECEDENTES**

En los últimos años el nivel de enfermedades relacionadas con la piel tiende a aumentar debido a varios factores tanto climáticos como industriales. Esto ha generado que las personas pongan una mayor atención a productos naturales. El jabón de glicerina es un producto que ofrece grandes beneficios en el cuidado de la piel, y al ser un jabón de pH neutro, puede ser usado para todas las edades y para todo tipo de piel.

Adicionalmente, el jabón de glicerina es muy fácil de producir, debido a que su materia prima, base de glicerina y los aditivos como fragancias, colorantes, extractos vitamínicos, se obtienen en centros de venta de productos químicos.

### **1.2. JUSTIFICACIÓN**

El proceso para realizar jabones de glicerina se inicia con la dilución de las barras de base de glicerina para mezclarlos con los aditivos extras que dan la característica final del producto. Una vez bien mezclado se vierte el producto en moldes preparados para la solidificación del producto y su empaqueo final. El personal requerido es mínimo, una sola persona puede realizar toda la producción que se muestra en la pirámide operacional para la producción del jabón de glicerina, indicado en la figura 1-1.



**Figura 1-1:** Pirámide de elaboración de jabones de glicerina

**Fuente:** Propia

En el proceso descrito, el vertido del producto a los moldes es un efecto cuello de botella, debido a que se realiza uno por uno de manera manual y sin un elemento que dosifique la cantidad exacta de producto; de tal forma, que existe el riesgo de desperdiciar producto. Por tanto, el optimizar el proceso significa productividad, eficiencia y ahorro.

La máquina propuesta está enfocada en sustituir un proceso tedioso, repetitivo y lento en algo productivo y eficiente, de tal manera, que el operador ponga un mínimo grado de atención con lo que se puede aprovechar en otras actividades.

### **1.3. OBJETIVOS**

#### **1.3.1. OBJETIVO GENERAL**

Diseñar una dosificadora de jabones de glicerina con capacidad de setenta y dos unidades por minuto.

### 1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Desarrollar un diseño que permita dosificar de manera constante y continua el producto.
- Obtener un diseño que optimice los recursos y garantice un producto con un gramaje de mínima tolerancia.
- Diseñar un sistema de avance de moldes de jabón para la máquina dosificadora.
- Obtener un diseño que combine el uso de un mínimo de partes importadas y un máximo de partes del mercado local.

## 1.4. GLICERINA

La glicerina ( $C_3H_8O_3$ ) es un alcohol con tres grupos de hidroxilos (-OH) que se obtienen de la degradación digestiva de los lípidos de forma natural, o por saponificación, que es la hidrólisis alcalina entre ésteres<sup>1</sup>, es decir una reacción química entre compuestos orgánicos a base de una sal alcalina como el hidróxido de sodio o potasio. También se puede obtener por la fermentación de azúcares y la deshidratación del propileno<sup>2</sup>.

### 1.4.1. PROPIEDADES Y APLICACIONES

La glicerina es un líquido incoloro, viscoso, soluble en agua en todas las proporciones y de sabor dulce. Puede reaccionar con un número variable de hidroxilos. El resultado más conocido es la nitroglicerina que mezclado con harina fósil dio lugar a la dinamita<sup>2</sup>, por el ingeniero e inventor Alfred Nobel.

Además de los explosivos, sus campos de aplicación son:

- Industria alimenticia, para preservantes y saborizantes.
- Industria farmacéutica, medicamentos en forma de jarabes, lubricante y humectante oftalmológico, dentífricos, base de pomadas, etc.
- Industria de lacas y pinturas, al ser materia prima para resinas sintéticas para barnices.

---

<sup>1</sup> Bailey, P. y Bailey, C. (1998). *Química Orgánica, conceptos y aplicaciones* (pp. 485). Barcelona: Pearson Educación.

<sup>2</sup> Consejo Editorial SALVAT S.A. (1968). *Enciclopedia SALVAT* (Tomo 9, pp.128). Barcelona: SALVAT S.A. Ediciones.

Industria de maquinarias, como anticongelante, lubricantes en industrias alimenticias y farmacéuticas porque no es tóxico como los hidrocarburos, resinas para aislantes.

- Industria tabacalera, por sus propiedades higroscópicas de absorber la humedad del ambiente.
- Industria textil, con sus derivados para la producción de algunas fibras sintéticas.
- Industria cosmética, para base de cremas, jabones, etc.

En la industria cosmética donde se centra la aplicación del proyecto, se utiliza como una mezcla de glicerina con otros componentes orgánicos y agua, llamándose así base de glicerina que se estudia en la sección 1.5.

### **1.5. JABÓN BASE DE GLICERINA**

La materia prima, glicerina, no se adquiere como tal, se lo obtiene como base de jabón de glicerina en los expendedores de productos químicos, el cual contiene generalmente un 40% de pureza de glicerina<sup>3</sup>, el resto son otros productos propios de la obtención durante la saponificación, además de agua, que generalmente es de 8%-10% (ANEXO A-1) y dependerá de cada proveedor. Sus cualidades son:

Hidratante de piel.

Calmante, debido a su poder hidratante.

Limpieza de poros.

pH neutro, por lo que es recomendado para piel sensible.

Cualquier otro beneficio que se pueda dar debido a ingredientes activos que se añadan.

La fórmula y receta para los jabones no se exponen en el proyecto, puesto que no se enfoca el tema en mejorar la calidad cualitativa del producto, sino en mejorar el proceso de producción al diseñar una máquina dosificadora.

---

<sup>3</sup> OPPAC S.A. (2012). *Ficha Técnica de Seguridad – Glicerina*. España.

## **1.6. MÁQUINAS DOSIFICADORAS**

Una dosificadora es un mecanismo que proporciona una cantidad exacta de algún material o insumo de manera automática agilizando y optimizando los recursos invertidos en la operación. Esto garantiza tanto al cliente como al fabricante, la cantidad exacta de producto que se está entregando, además de un tiempo de producción mejorado.

### **1.6.1. TIPOS DE DOSIFICADORAS**

Existen varios tipos de dosificadoras que dependen del estado del producto a trabajar (líquido, sólido, polvo, gas), sus características físicas, de la precisión deseada, dinámica del proceso (flujo de dosificación) y del modo de servicio, es decir, que tan automatizado se desea el proceso. Por tanto, de forma generalizada, existen dos tipos de dosificadoras:

Dosificadoras volumétricas.

Dosificadoras gravimétricas.

### **1.6.2. DOSIFICADORAS VOLUMÉTRICAS**

Las volumétricas son las más simples y económicas del mercado. Consisten básicamente en una tolva que contiene el producto y va suministrando al elemento dosificador, de manera que transportan un cierto volumen de material por unidad de tiempo, por lo que la dosis requerida se calibra por el flujo proporcional en peso, esto implica que estas dosificadoras no pesan el flujo, convirtiéndolos en dispositivos de ciclo abierto, es decir, no pueden detectar o ajustar variaciones en la densidad del material. Los mecanismos de dosificación más comunes son:

Dosificadora de tornillo sin fin.

Dosificadora de banda rodante.

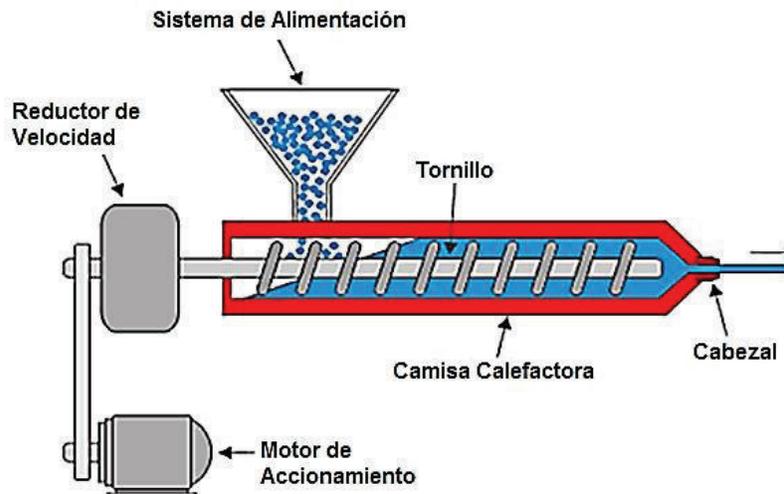
Dosificadora de compuerta rotativa.

Dosificadora de émbolo.

#### **1.6.2.1. DOSIFICADORA DE TORNILLO SIN FIN**

Este tipo de dosificadora, mostrada en la figura 1-2 tiene un tornillo sin fin en la parte inferior posterior a la tolva liberando un volumen determinado de producto en cada vuelta. La rapidez del tornillo está dada por un sistema reductor de

velocidad a través del acoplamiento de engranajes o bandas desde un motor eléctrico, o simplemente por la regulación directa en el propio motor. Está diseñada para productos en polvo.



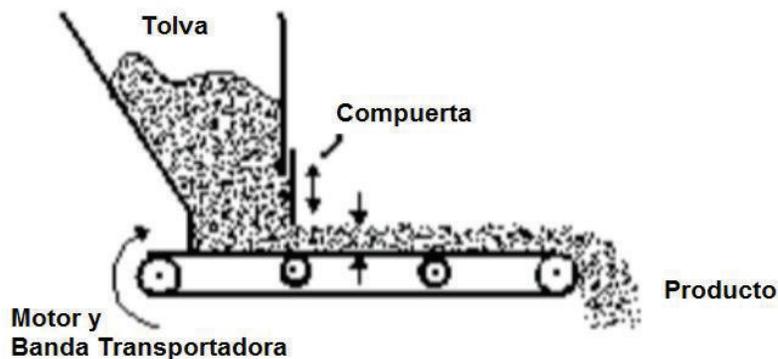
**Figura 1-2:** Esquema de dosificadora de tornillo sin fin

Fuente: [http://4.bp.blogspot.com/-jQUzxtXg4Y/UZT58hZm-](http://4.bp.blogspot.com/-jQUzxtXg4Y/UZT58hZm-EI/AAAAAAAAAEw/E5QZWDQZxbg/s1600/Sin+t%C3%ADtulo.png)

[EI/AAAAAAAAAEw/E5QZWDQZxbg/s1600/Sin+t%C3%ADtulo.png](http://4.bp.blogspot.com/-jQUzxtXg4Y/UZT58hZm-EI/AAAAAAAAAEw/E5QZWDQZxbg/s1600/Sin+t%C3%ADtulo.png)

### 1.6.2.2. DOSIFICADORA DE BANDA RODANTE

Esta dosificadora es relativamente simple y su principio de funcionamiento está determinado de acuerdo a la variación de la velocidad de la banda y en la modificación de la cantidad de producto que sale al regular la compuerta a la salida de la tolva. Su aplicación está enfocada a sólidos y polvos, se muestra en la figura 1-3.



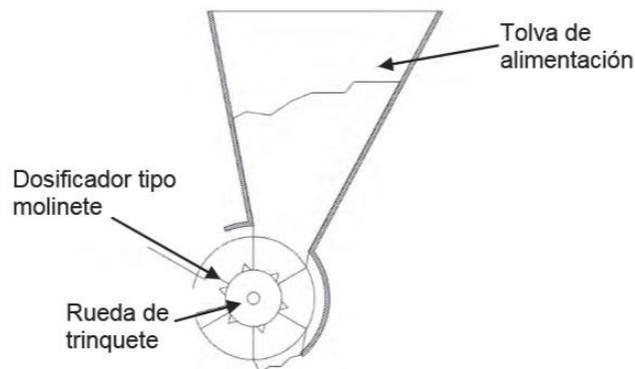
**Figura 1-3:** Dosificadora de banda rodante

Fuente:

<http://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/1902/5/04%20Diseno%20construccion%20dosificadores.pdf>

### 1.6.2.3. DOSIFICADORA DE COMPUERTA ROTATIVA

La compuerta rotativa constituye el elemento principal de esta dosificadora de construcción simple y robusta, no obstante es menos precisa que el mecanismo de tornillo, y de igual manera tiene un motor eléctrico que regula la velocidad de dosificación, tal como se muestra en la figura 1-4.

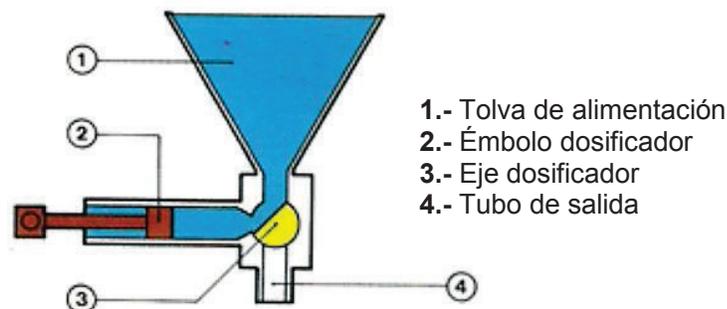


**Figura 1-4:** Dosificadora de compuerta rotativa

**Fuente:** <http://dima.chapingo.mx/contenido/tesis2010/tesisgiron.pdf>

### 1.6.2.4. DOSIFICADORA DE ÉMBOLO

Usada por su alto grado de precisión en el suministro de productos líquidos densos y viscosos, existen en varias configuraciones dependiendo del flujo de despacho, producto en sí y el volumen del producto a dosificar. De forma general, el producto ingresa en el cilindro, ya sea por gravedad o inyectado por un motor de succión desde un depósito más grande, luego cierra la válvula de ingreso para ser inyectado por el émbolo de carrera regulable a través del tubo de salida. Su esquema se muestra en la figura 1-5.



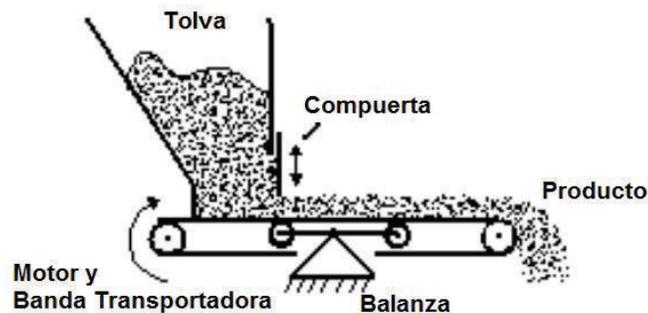
**Figura 1-5:** Dosificadora de émbolo

**Fuente:** <http://www.postpacksl.com/web/horizontal-dosif.php?lang=1>

### 1.6.3. DOSIFICADORAS GRAVIMÉTRICOS

Estos tipos de máquinas son mucho más precisos, puesto que controlan la masa final del producto a suministrar, por lo tanto, su retroalimentación constituye la herramienta clave para corregir defectos de dosificación que puedan surgir debido al tipo de producto en sí, como por ejemplo, burbujas de aire, imprecisión en el mecanismo dosificador, o cualquier otra variable que pueda afectar la ración de producto final.

Estas máquinas se pueden considerar como un complemento a las máquinas anteriormente descritas, puesto que son una báscula acoplada al mecanismo donde reside el producto, para ser tasado y calibrado al peso deseado. En la descarga del producto se mide la pérdida de peso en el tiempo preestablecido, en el cual, el valor real es comparado al valor referencial deseado y la diferencia permite al sistema corregir la velocidad de alimentación. Su esquema se muestra en la figura 1-6.



**Figura 1-6:** Dosificadora gravimétrica formada por una dosificadora de compuerta rotativa, una dosificadora de tornillo sin fin y el pesado de la tolva

**Fuente:**

<http://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/1902/5/04%20Diseno%20construccion%20dosificadores.pdf>

## **CAPÍTULO 2.**

### **MARCO TEÓRICO**

#### **2.1. INTRODUCCIÓN**

En el presente capítulo se desarrolla el estudio de reología de la materia prima para elaborar el jabón de glicerina en su estado líquido; los sistemas básicos que conforman una máquina dosificadora, y los términos generales del documento de especificación como herramienta básica para empezar el proceso de diseño.

#### **2.2. REOLOGÍA**

##### **2.2.1. REOLOGÍA**

La reología es parte de la mecánica que estudia la elasticidad, plasticidad y viscosidad de la materia.<sup>4</sup>

Está más directamente relacionada con el estudio de líquidos, el objetivo de la misma está limitado a la observación del comportamiento de materiales sometidos a deformaciones muy sencillas, como esfuerzos de tensión, compresión y corte.

##### **2.2.2. ANÁLISIS REOLÓGICO**

Para determinar las propiedades mecánicas de los fluidos que son sometidos a diferentes esfuerzos, se usa el análisis reológico. El mismo servirá para poder seleccionar, dimensionar y diseñar los distintos elementos de la máquina dosificadora con el fin de asegurar el funcionamiento óptimo de la misma.

##### **2.2.3. PROPIEDADES REOLÓGICAS**

Algunas de las propiedades reológicas más importantes son:

- Viscosidad aparente (relación entre esfuerzo de corte y velocidad de corte)
- Coeficientes de esfuerzos normales
- Viscosidad compleja (respuesta ante esfuerzos de corte oscilatorio)
- Módulo de almacenamiento y módulo de pérdidas (comportamiento visco elástico lineal)

---

<sup>4</sup> OCEANO UNO. (1989). *Diccionario Enciclopédico Ilustrado*. Barcelona: Océano Gallach.

Se destaca entre ellas para el presente proyecto la viscosidad que se entiende por la resistencia a fluir o el “espesamiento”

### 2.2.3.1. VISCOSIDAD

La viscosidad es la resistencia que ofrecen los fluidos a ser deformados, cuando son sometidos a un esfuerzo cortante<sup>5</sup>; por lo tanto es la oposición de un fluido a esfuerzos tangenciales.

La viscosidad se manifiesta sólo si hay movimiento. En reposo no existe esfuerzo cortante, por lo tanto no hay efecto de resistencia al mismo.

La viscosidad puede ser afectada por distintos factores tales como: temperatura, presión y la velocidad de corte. Se expone en la ecuación (2.1) la ley de Newton de la viscosidad.

- Ley de Newton de la viscosidad:

$$\tau = \mu \frac{dU}{dy} \quad (2.1)$$

Donde:

$\tau$ : Esfuerzo cortante

$\mu$ : Viscosidad

$\frac{dU}{dy}$ : Gradiente de velocidad “ $\dot{\gamma}$ ”

### 2.2.4. TIPOS DE FLUIDOS

Se dividen en dos grupos:

- Newtonianos
- No newtonianos

#### 2.2.4.1. FLUIDOS NEWTONIANOS

Cuando la viscosidad es constante, para cualquier valor de  $\tau$ , el fluido recibe el nombre de newtoniano (o fluido viscoso lineal). La representación gráfica  $\tau$  vs.  $\dot{\gamma}$  de un fluido newtoniano es una recta que pasa por el origen, como se muestra en la figura 2-1.

---

<sup>5</sup> Barnes, H. (2000). *A Handbook of Elementary Rheology*. Aberystwyth: University of Wales.

### 2.2.4.2. FLUIDOS NO NEWTONIANOS

Son aquellos que no cumplen con la ley de Newton, su viscosidad es función de la temperatura y tensión cortante que se le aplica. Se subdividen en:

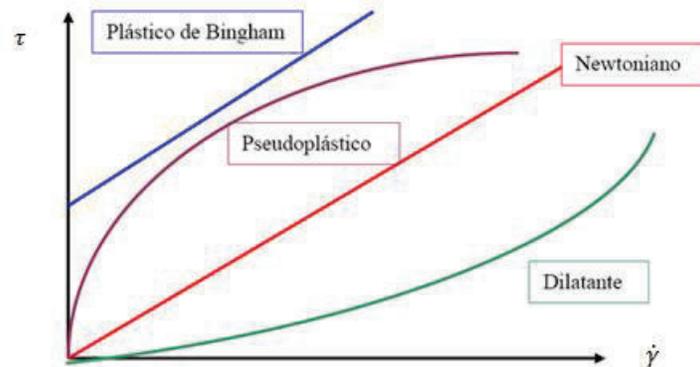
- Fluidos no newtonianos independientes del tiempo

$$\tau = f(\dot{\gamma}) \quad (2.2)$$

- Fluidos no newtonianos dependientes del tiempo

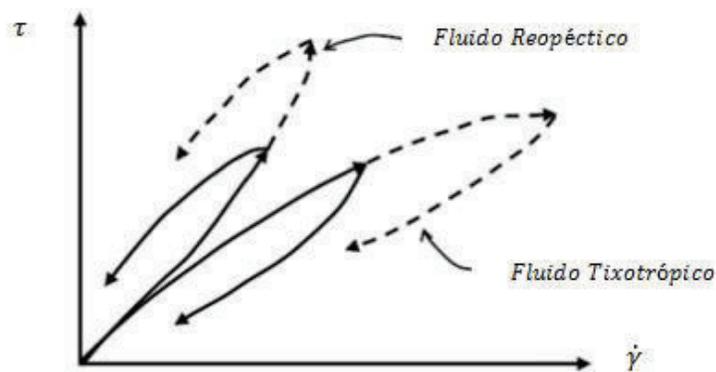
$$\tau = f(\dot{\gamma}; t) \quad (2.3)$$

En la figuras 2-1 y 2-2 se pueden apreciar gráficamente los fluidos mencionados de los ítems 2.1.4.1 y 2.1.4.2.



**Figura 2-1:** Curvas de fluidos newtonianos y no newtonianos independientes del tiempo

Fuente: <http://procesosbio.wikispaces.com/Fluidos>



**Figura 2-2:** Curvas de fluidos no newtonianos dependientes del tiempo

Fuente:

[http://datateca.unad.edu.co/contenidos/201005/modulo/Modulo\\_fenomenos/leccin\\_no\\_16\\_\\_generalidades\\_de\\_transferencia\\_de\\_fluidos\\_y\\_transferencia\\_de\\_calor.html](http://datateca.unad.edu.co/contenidos/201005/modulo/Modulo_fenomenos/leccin_no_16__generalidades_de_transferencia_de_fluidos_y_transferencia_de_calor.html)

### **2.2.5. ESTUDIO REOLÓGICO DE LA SOLUCIÓN DE GLICERINA EMPLEADA PARA LA ELABORACIÓN DE JABONES DEL PRESENTE PROYECTO**

El mencionado estudio reológico se lo realizó en el laboratorio de la Facultad de Ingeniería Química de la Escuela Politécnica Nacional, se usó un viscosímetro rotacional empleando un husillo calibre S62 a diferentes velocidades y calentando el producto hasta 80 [°C] a baño maría.

Se pudo determinar que el fluido en cuestión tiene un comportamiento newtoniano.

Los resultados del ensayo se encuentran en el ANEXO A-2.

### **2.3. SISTEMAS TÍPICOS DE UNA MÁQUINA DOSIFICADORA**

En la introducción a los distintos tipos de máquinas dosificadoras del capítulo 1, se observa que de forma general, una dosificadora posee los siguientes sistemas básicos:

- Sistema de alimentación de producto.
- Sistema de dosificación.

Para maquinas dosificadoras más complejas se pueden incluir los siguientes sistemas:

- Sistema de medición de peso dosificado.
- Sistema de calentamiento de producto.
- Sistema de empaçado.
- Sistema de avance de producto envasado.
- Otros definidos por el usuario.

El estudio se realiza sobre los sistemas básicos. De ser necesario un sistema adicional que especifique el usuario, el capítulo 3, toma en consideración dicha solicitud con el respectivo análisis.

### **2.3.1. SISTEMA DE ALIMENTACIÓN DE PRODUCTO**

Este sistema es el más sencillo de toda máquina dosificadora, a no ser que, el usuario tenga algún requerimiento especial, pero es de vital importancia un diseño adecuado que cumpla con los requerimientos establecidos y así lograr un desempeño óptimo global. Su función es de proveer el producto al sistema de dosificación, de forma que, el usuario pueda realizar una descarga del producto de una manera segura y que dicha descarga sea suficiente para trabajar un tiempo adecuado, es decir, el volumen a contener por descarga debe ser lo suficiente para ejecutar por lo mínimo un ciclo de trabajo completo.

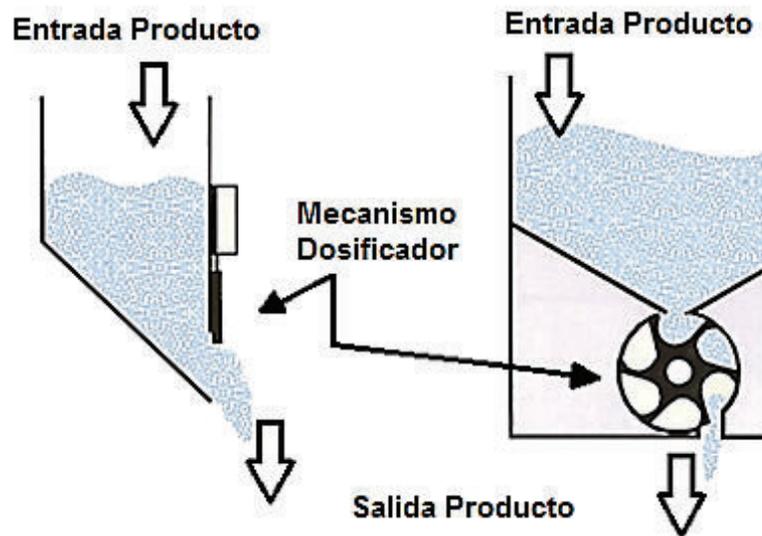
Básicamente existen 2 tipos de sistemas de alimentación de producto, que son función de la ubicación del depósito del producto.

- Alimentación por gravedad.
- Alimentación por elevador.

#### **2.3.1.1. ALIMENTACIÓN POR GRAVEDAD**

Es el más usado a nivel comercial, el cual está constituido por una tolva de alimentación consolidada a la máquina dosificadora, donde el producto se deposita de manera manual por el usuario, para que la máquina succione y dosifique el volumen necesario para cada unidad de producto final. La capacidad volumétrica de la tolva depende de la tasa de producción.

Generalmente las tolvas están fabricadas en lámina de acero delgada, el espesor varía en función del tipo de producto. La tolva debe tener un diseño geométrico que garantice el flujo del producto por gravedad, tal como se indica en la figura 2-3, de tal forma, que el producto fluya por las paredes de la tolva, venciendo las fuerzas de rozamiento existentes.



**Figura 2-3:** Tolvas de alimentación consolidadas a la máquina dosificadora.

**Fuente:** <http://www.plastico.com/temas/Para-que-existen-distintos-dispositivos-dosificadores-Parte-2+98522>

### 2.3.1.2. ALIMENTACIÓN POR ELEVADOR.

Estos sistemas son de carácter industrial, donde la producción es elevada y generalmente son manejados por silos de almacenamiento, o tolvas de gran capacidad ubicadas a nivel del suelo, como se indica en la figura 2-4. El producto es depositado en grandes cantidades con maquinaria o manualmente, razón por la cual se encuentran a nivel del piso.

El producto luego es transportado por un sistema elevador con banda transportadora, o tornillo sin fin en caso de sólidos, y con bombas en el caso de líquidos. En cualquier caso, el producto es llevado hacia otra tolva de alimentación de tipo gravimétrico para finalmente ser dosificado.



**Figura 2-4:** Máquina dosificadora con sistema de alimentación por elevador.

**Fuente:** <http://barquisimeto.claxi.com.ve/empaquetadora-nueva-de-azucar-granos-semillas-cafe-en-barquisimeto-LtvU>

### 2.3.2. SISTEMA DE DOSIFICACIÓN

Este sistema tiene como función dosificar la cantidad exacta de producto en un tiempo acorde a la producción deseada. El mecanismo de dosificación de una dosificadora volumétrica comprende en alternar dos funciones consecutivas en la máquina, detalladas a continuación:

- Fase de succión, en la cual se extrae producto de la tolva de alimentación.
- Fase de dosificación, en la cual se suministra producto hacia los envases o contenedores correspondientes.

Estas fases son ejecutadas a través de un conjunto de elementos diseñados de tal forma, que trabajen sincrónicamente, con el volumen necesario a dosificar y mantenga un aislamiento entre la tolva de alimentación y el ducto por el cual se suministra el producto, evitando así una fuga de producto indeseada.

Para ejecutar tales operaciones o ciclos de trabajo, existen las máquinas descritas en la sección 1.6, donde cada una posee sus ventajas y desventajas que se analizan en la sección 3.3.1 para la selección de alternativas.

### **2.3.3. SISTEMA DE CALENTAMIENTO**

El sistema de calentamiento, es un sistema auxiliar a la máquina dosificadora que cumple como un requisito en función al tipo de producto con el que se trabaja, tales así como fluidos viscosos; para así, conservar una temperatura ideal de trabajo durante el proceso de dosificación, manteniendo así un rango de viscosidad óptimo de operación y evitando un posible cambio de fase del producto.

Por lo general se pueden usar para este fin dos tipos de sistema de calentamiento acorde a la máquina dosificadora a diseñar, detallados a continuación:

- Calentamiento por encamisado.
- Calentamiento por resistencia eléctrica.

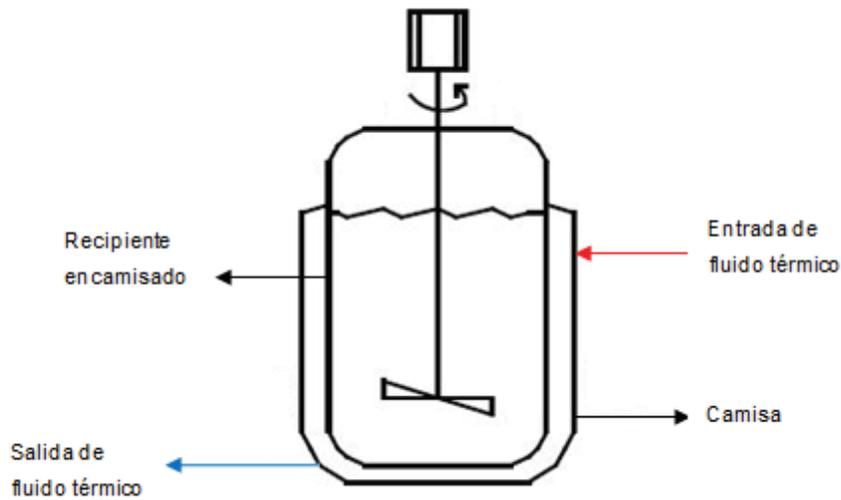
#### **2.3.3.1. CALENTAMIENTO POR ENCAMISADO**

Este tipo de calentamiento se produce por la transferencia de calor desde un fluido térmico contenido en una cámara adyacente al depósito del producto. El tipo de fluido térmico depende directamente del tipo de producto, el cual, puede ser aceite térmico, o agua ya sea en su fase gaseosa o líquida.

Por lo tanto, la transferencia de calor se da por conducción a través de las paredes donde se contiene el producto. Para este fin, el depósito del producto debe ser construido incorporando sobre su superficie una camisa o chaqueta de metal, de tal forma, que en su interior pueda circular el fluido térmico.

Generalmente este tipo de calentamiento se aplica en grandes industrias, donde disponen de una caldera y un sistema de líneas de distribución del fluido térmico, convirtiéndose en un sistema rentable y limpio en su disposición.

En la figura 2-5 se presenta un esquema de este tipo de calentamiento.



**Figura 2-5:** Sistema de calentamiento por encamisado

**Fuente:** [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1692-35612008000200005](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1692-35612008000200005)

### 2.3.3.2. CALENTAMIENTO POR RESISTENCIA ELÉCTRICA

Las resistencias eléctricas son elementos que transforman la energía eléctrica en energía calorífica; es así que por medio de estos elementos se calienta el producto ya sea con un contacto directo o indirecto. Los requisitos del usuario y del tipo de producto definen el tipo de contacto.

Básicamente existen dos tipos de resistencias eléctricas:

- Tubulares, figura 2-6.
- En forma de 3U, figura 2-7.



**Figura 2-6:** Resistencia eléctrica de inmersión recta tubular

**Fuente:** <http://www.termokew.mx/resistencias-calentamiento.php>



**Figura 2-7:** Resistencia eléctrica en forma de 3U

**Fuente:** <http://www.venderya.es/-20/anuncios/3-Electr-nica/23-Otros/3858156-RESISTENCIA-ELECTRICA-DE-INMERSION-CON-ROSCA-1-1-2-4500-WATIOS-FORMA-3U-.html>

#### **2.3.4. SISTEMA DE AVANCE DE PRODUCTO ENVASADO**

Este sistema de avance de producto envasado es auxiliar, el cual permite elevar la producción de una manera automatizada, proveyendo de nuevos envases o moldes para una dosificación continua en función de la tasa de producción del sistema de dosificación.

Debido a que existe una infinidad de envases, que dependen del tipo de producto y el tipo de presentación que se desea generar; se analiza únicamente los tipos que van acorde al proyecto de estudio y que corresponden a moldes para solidificación del producto. Por lo tanto los tipos para avance de moldes son:

- Avance por banda transportadora.
- Avance en carrusel.

##### **2.3.4.1. AVANCE POR BANDA TRANSPORTADORA**

Para el sistema de avance por banda transportadora se cuenta básicamente con el uso de un motor eléctrico y un sistema de cadena-piñones, o banda transportadora tensada entre ejes por medio de chumaceras, además de la estructura de soporte, como se muestra en la figura 2-8. El motor puede ser a pasos, con variador de frecuencia, o acoplado a un reductor de transmisión para así regular la velocidad de avance de moldes.

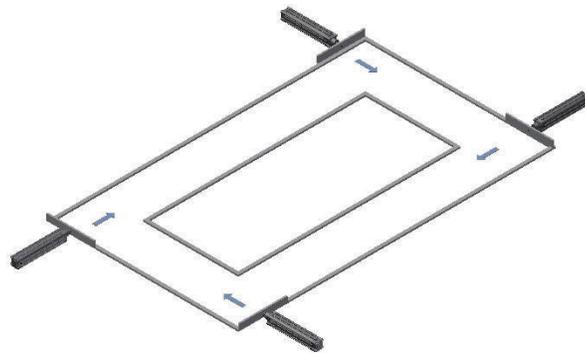


**Figura 2-8:** Avance por banda transportadora

**Fuente:** <http://buenos-aires.all.biz/cintas-transportadoras-para-lineas-de-empaque-g120582#.VtbT8pzhCM8>

#### 2.3.4.2. AVANCE EN CARRUSEL

El sistema de avance de recipientes o moldes en carrusel es generalmente impulsado por actuadores que empujan los moldes, que a su vez empujan en cadena al resto de moldes para así conseguir un movimiento total del circuito de trabajo. Habitualmente los actuadores suelen ser neumáticos. La figura 2-9 muestra una configuración del sistema tipo carrusel.



**Figura 2-9:** Avance en carrusel

**Fuente:** Propia

### 2.4. DOCUMENTO DE ESPECIFICACIÓN

El documento de especificación es una herramienta referencial para iniciar el proceso de diseño de un proyecto, organizando todas las especificaciones e información útil para el responsable del proyecto; se resume dicho modelo en la tabla 2-1.

Tabla 2-1: Modelo de documento de especificación

<b>LISTA DE REFERENCIAS DE ESPECIFICACIONES</b>	
<b>CONCEPTOS</b>	<b>DETERMINACIONES</b>
Función	Descripción de las funciones principales, ocasionales y accidentales del producto (si es necesario, con esquemas).
Dimensiones	Espacios, volúmenes, masas, longitudes, anchuras, alturas, diámetros; número y disposición de elementos.
Movimientos	Tipos de movimiento; desplazamientos, secuencias y tiempos; trayectorias, velocidades y aceleraciones.
Fuerzas	Magnitud, dirección y sentido de fuerzas y momentos; variación en el tiempo; desequilibrios y deformaciones admisibles.
Energía	Accionamientos mecánicos y otros conversores de energía: alimentación y control; transmisiones; potencia y rendimiento.
Materiales	Flujo, transporte y transformación de materiales; limitaciones o preferencias sobre su uso; condicionantes de mercado.
Señales y Control	Señales de entrada y salida; sensores y actuadores; funciones del sistema de control.
Fabricación y Montaje	Volumen previsto de producción y cadencia en el tiempo; limitaciones o preferencias en procesos y equipamiento; variantes en el producto y flexibilidad en la fabricación.
Transporte y Distribución	Embalaje y transporte: dimensiones, masas, orientación, golpes; instalación, montaje y puesta a punto.
Vida Útil y Mantenimiento	Vida prevista; fiabilidad y mantenibilidad; tipo de mantenimiento e intervalos de servicio; criterios sobre recambios.
Costos y Plazos	Costos de desarrollo y preparación de utillaje; plazos de desarrollo y tiempo para el mercado.
Seguridad y Ergonomía	Sistemas y dispositivos de seguridad; relación con el usuario: operación, inteligibilidad, confort y aspecto.
Impacto Ambiental	Consumos de energía y materiales; limitaciones al impacto ambiental en la fabricación, utilización y fin de vida.
Aspectos Legales	Cumplimiento de normas (función de los usos y mercado); evitar la colisión con patentes.

Fuente: Propia

## **CAPÍTULO 3.**

### **REQUERIMIENTOS DE DISEÑO Y SELECCIÓN DE ALTERNATIVA**

Los requerimientos parten de las necesidades del usuario y de las normas existentes para determinar los materiales, dispositivos y cargas a seleccionar para la máquina. Por lo tanto, las necesidades del cliente definen la máquina de forma global, mientras que el diseñador, aclara y/o detalla las especificaciones técnicas que se requieren para finalizar el modelo del proyecto. Por consiguiente, es obligación del diseñador especificar las normas técnicas con las cuales el cliente requiere su producto.

#### **3.1. PARÁMETROS DE DISEÑO**

La comunicación entre usuario y diseñador es de vital importancia, desde la primera reunión hasta definir el documento de especificación, puesto que así, se concreta un modelo global entre los requerimientos del usuario y las posibilidades reales que existen en el mercado.

Los requerimientos del usuario para la máquina son:

- El producto a dosificar es jabón base de glicerina con capacidad por molde de (60 – 120) [cm<sup>3</sup>].
- La producción requerida es de 72 unidades por minuto.
- La temperatura de dosificación es de (75 – 80) [°C].
- El Costo máximo es de 11000 USD.

#### **3.2. DOCUMENTO DE ESPECIFICACIÓN DEL PROTOTIPO**

Con los requerimientos del usuario y el documento de especificación de la tabla 2-1 se define el documento de especificación para la máquina dosificadora de jabones de glicerina, el mismo que se muestra en la tabla 3-1.

Tabla 3-1: Especificaciones técnicas solicitadas por cliente e ingeniero

Empresa	Producto	Fecha	Página
SAMY	Jabón de glicerina	2015/11/12	1/1
Concepto	Propone	R/D	Descripción
Función	C	R	Dosificar jabón de glicerina en moldes con capacidad de (60 – 120) [cm <sup>3</sup> ] Dosificar un mínimo de 72 [uni/min] Trabajo continuo de 6 [horas/día] Dispositivo de regulación de temperatura. Semiautomático, 1 sólo operador.
	C	R	
	C	R	
	I	D	
	C	R	
Dimensiones	C	D D	Dimensiones: (1500x1400x800) [mm] Tolva: (40-50) [L]
	C		
Movimientos	I	R	Dosificado vertical. Transporte horizontal de moldes.
	I	R	
Energía	C	R	Eléctrica: 110 [VAC] y neumática: 6 [bar]
Señales y Control	C+I	R R R R	Mandos de encendido y accionamiento. Actuadores neumáticos. Control y sensor de temperatura. Sin función de gramaje final (máquinas gravimétricas).
	C+I		
	I		
	C		
Fabricación y montaje	C	D	Flexibilidad para aplicar a otros productos en el futuro. Facilidad de transporte.
	C	R	

.../

(Continuación)

Vida útil y mantenimiento	C	D	Fácil mantenimiento.
Costes y plazos	C	R	Presupuesto 11000 USD.
Aspectos legales	C	R	Cumplimiento de normativas de tratamiento de cosméticos.

Fuente: Propia

Propone: C = Cliente;

I = Ingeniero

R/D: R = Requerimiento

NR = Nuevo requerimiento

D = Deseo (expectativa)

MR = Modificar requerimiento

Establecida el documento de especificación se procede al estudio de alternativas más conveniente para diseñar el presente prototipo.

### 3.3. ESTUDIO DE ALTERNATIVAS

Para el estudio de alternativas se determina que la máquina está dividida en tres sistemas fundamentales que operan a la misma.

- Sistema de dosificación.
- Sistema de calentamiento.
- Sistema de avance de moldes.

La metodología de selección es por ponderación de cualidades de las alternativas para los sistemas. Aunque en algunos casos, un discernimiento rápido lleva claramente a una selección determinada, debido a las propias especificaciones que pueda cumplir el dispositivo en función de los requerimientos del cliente.

#### 3.3.1. SISTEMA DE DOSIFICACIÓN

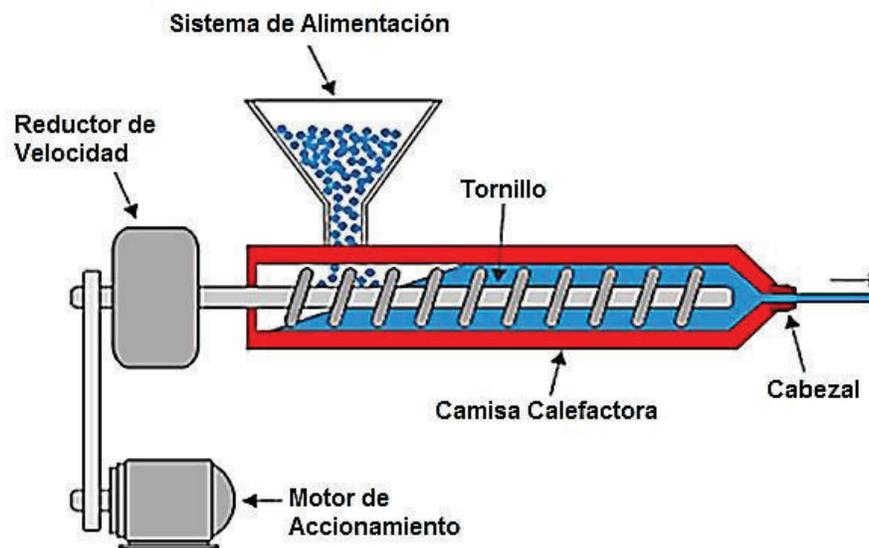
Como se menciona en la sección 2.3.2, este sistema cumple la función de suministrar el producto en una cantidad de volumen precisa, en un tiempo acorde a la producción y en sentido vertical, de acuerdo al documento de especificación.

De la sección 1.6, se observa que existen varios tipos de máquinas dosificadoras, de las cuales se descarta la máquina por banda rodante, que es exclusivamente

para granos y polvos. De las máquinas restantes se analizan sus ventajas y desventajas, así como para el tipo de mecanismo para producir el movimiento entre las fases de succión y dosificación.

### 3.3.1.1. VENTAJAS Y DESVENTAJAS EN MÁQUINAS DOSIFICADORAS POR TORNILLO SIN FIN.

Para analizar las ventajas y desventajas del sistema dosificador por tornillo sin fin, se presenta la figura 1-2 repetida.



**Figura 1-2 (Repetida):** Esquema de dosificadora de tornillo sin fin

**Fuente:** [http://ocw.uc3m.es/ingenieria-mecanica/ingenieria-de-transportes/material-de-clase-1/tornillos\\_sin\\_fin.pdf](http://ocw.uc3m.es/ingenieria-mecanica/ingenieria-de-transportes/material-de-clase-1/tornillos_sin_fin.pdf)

Por tanto, las ventajas para el sistema de tornillo sin fin son:

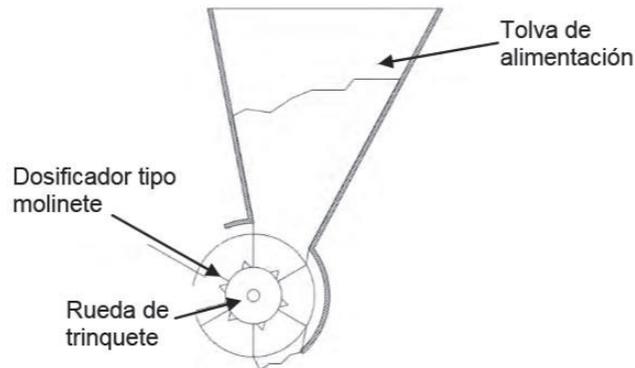
- Fases de succión y dosificación realizadas en el mismo ciclo.
- Buen grado de precisión en la dosificación de fluidos viscosos o en polvos.
- Capacidad de dosificar diferentes volúmenes.

Las desventajas son:

- Fabricación del tornillo más costoso.
- Para trabajo con fluidos de baja viscosidad, requiere una compuerta que hermetice el paso del producto.
- Caudal volumétrico bajo.

### 3.3.1.2. VENTAJAS Y DESVENTAJAS EN MÁQUINAS DOSIFICADORAS POR COMPUERTA ROTATIVA.

Para analizar las ventajas y desventajas del sistema dosificador por compuerta rotativa, se presenta la figura 1-4 repetida.



**Figura 1-4 (Repetida):** Dosificadora de compuerta rotativa

**Fuente:** <http://dima.chapingo.mx/contenido/tesis2010/tesisgiron.pdf>

Las ventajas para las máquinas dosificadoras por compuerta rotativa son:

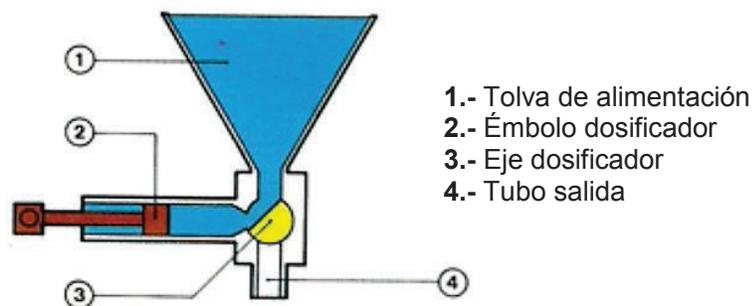
- Diseño más simple y económico.
- Poco espacio requerido.

Las desventajas son:

- Bajo grado de precisión en la dosificación.
- Para trabajo con fluidos de baja viscosidad, requiere una compuerta que hermetice el paso del producto.
- Volumen a dosificar es invariable.

### 3.3.1.3. VENTAJAS Y DESVENTAJAS EN MÁQUINAS DOSIFICADORAS POR ÉMBOLO.

Para analizar las ventajas y desventajas de la dosificadora por émbolo, se presenta la figura 1-5 repetida.



**Figura 1-5 (Repetida):** Dosificadora de émbolo

Fuente: <http://www.postpacksl.com/web/horizontal-dosif.php?lang=1>

Las ventajas para las máquinas dosificadoras por émbolo son:

- Alto grado de precisión en la dosificación.
- Construcción de émbolo más sencilla y económica.
- Capacidad para variar el volumen de dosificación regulando el desplazamiento del émbolo.

Las desventajas son:

- Rango de capacidad volumétrica de dosificación limitado.
- Mecanismo necesario más complejo que los otros mencionados.

### 3.3.1.4. SELECCIÓN DEL TIPO DE MÁQUINA DOSIFICADORA.

Para la selección de la alternativa más conveniente se pondera en base a costos, precisión de dosificación y la flexibilidad en variar el volumen de dosificación. Generando la tabla de ponderación 3-2 con el criterio de valoración de 1 bajo y 10 alto.

Tabla 3-2: Selección de tipo de máquina dosificadora.

Alternativas	Costos	Precisión	Volumen dosificación	$\Sigma+1$	Ponderación
Tornillo sin fin	6	5	9	20	0,34
Compuerta rotativa	8	4	4	16	0,28
Émbolo	6	9	7	22	<b>0,38</b>
				58	1,00

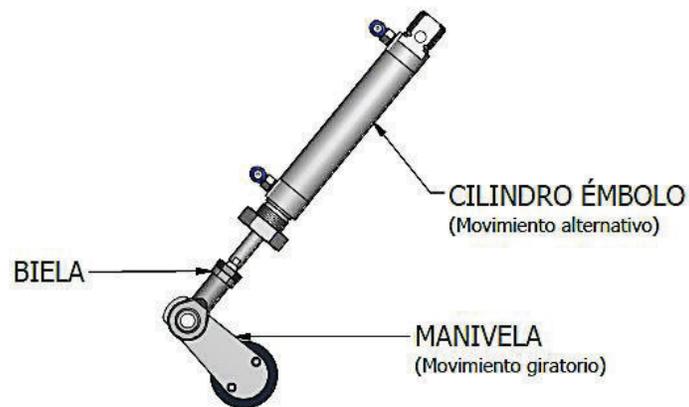
Fuente: Propia

Del sistema seleccionado, inicia el subsiguiente análisis que corresponde al mecanismo para dar acción a la operación de succión – dosificación, mediante un eje dosificador (figura 1-5). Los posibles mecanismos son:

- Actuador neumático giratorio, figura 3-1.
- Mecanismo biela manivela, figura 3-2.



**Figura 3-1:** Actuador neumático giratorio  
Fuente: Catálogo CAD FESTO



**Figura 3-2:** Mecanismo biela-manivela  
Fuente: Propia

### 3.3.1.5. VENTAJAS Y DESVENTAJAS DEL ACTUADOR NEUMÁTICO GIRATORIO

Las ventajas para el elemento son:

- Alto grado de precisión y regulación de giro.
- No requiere mecanismos adicionales.

Sus desventajas son:

- Costo.
- Actúa sobre un solo eje dosificador.
- Bajo torque.

### **3.3.1.6. VENTAJAS Y DESVENTAJAS DEL MECANISMO BIELA-MANIVELA.**

Las ventajas para el elemento son:

- Capacidad para acoplar a varios ejes dosificadores.
- Mayor torque de aplicación.

Sus desventajas son:

- Costos, puesto que requiere un actuador que genere el movimiento, y fabricación del mecanismo.
- Precisión y regulación limitadas.

### **3.3.1.7. SELECCIÓN DEL MECANISMO DE GIRO DEL EJE DE DOSIFICACIÓN**

Para la selección de este dispositivo se determinan los parámetros relevantes que afectan a los requerimientos funcionales del mismo, siendo estos:

- Capacidad de torque: que debe vencer la inercia del eje dosificador y así posicionar al mismo para los ciclos de operación de succión y dosificación.
- Costos: para no excederse innecesariamente en el presupuesto.
- Graduación: para poder regular diferentes ángulos de giro del eje.

En la tabla 3-3 se resume la selección del mecanismo de giro del eje dosificador, con el criterio de valoración de 1 bajo y 10 alto para los distintos parámetros.

Tabla 3-3: Selección mecanismo de giro de eje de dosificación

Alternativas	Capacidad de torque	Costos	Graduación	$\Sigma+1$	Ponderación
Actuador neumático giratorio	2	3	4	9	<b>0,53</b>
Mecanismo biela manivela	3	3	2	8	0,47
				17	1,00

Fuente: Propia

### 3.3.2. SISTEMA DE CALENTAMIENTO

Este sistema debe mantener la temperatura de trabajo del fluido a dosificar, permitiendo así que fluya el producto a través de los mecanismos sin producir atascamientos.

Para cumplir con dicha función existen varias alternativas mencionadas en la sección 2.3.3 que son: sistema por encamisado, sistema por resistencia eléctrica recta tubular y en forma de 3U.

#### 3.3.2.1. VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE CALENTAMIENTO POR ENCAMISADO

Las ventajas para este sistema son:

- Alto flujo de calor.
- Mayor sanidad.

Las desventajas son:

- Mayor costo en fabricación de camisa.
- Fuente de agua caliente y/o vapor constante.
- Riesgo de fugas.
- Dificil regulación de temperatura.

### **3.3.2.2. VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE RESISTENCIA TUBULAR**

Las ventajas para este sistema son:

- Económico.
- Moldeable.
- Regulación de temperatura sencilla.

Las desventajas son:

- Riesgo de choques eléctricos.
- Los calibres o diámetros son estándares, no se puede elegir una medida personalizada.
- Flujo de calor medio.

### **3.3.2.3. VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE RESISTENCIA 3U**

Las ventajas para este sistema son:

- Gran flujo de calor.
- Moldeable.
- Regulación de temperatura sencilla.

Las desventajas son:

- Riesgo de choques eléctricos.
- Los calibres o diámetros son estándares, no se puede elegir una medida personalizada.
- Alto costo.
- Ocupan mayor espacio.

### **3.3.2.4. SELECCIÓN DEL SISTEMA DE CALENTAMIENTO**

Los factores preponderantes con valoración de 1 para deficiente o inadecuado y 10 para alto o mejor, se detallan a continuación:

- Regulación de temperatura: facilidad para controlar y seleccionar diferentes temperaturas, teniendo en cuenta que la temperatura de trabajo es de

(75-80) [°C] y se deben realizar ajustes de pocos grados para controlar bien su viscosidad.

- **Facilidad de limpieza:** el sistema a escoger debe producir la menor cantidad de depósitos pegados al elemento de calentamiento, así como resistencia a la abrasión y corrosión.
- **Costos:** el sistema no debe ser muy costoso ni que requiera de equipos adicionales especiales.
- **Seguridad:** el sistema debe ser de fácil operación sin que represente un riesgo de salud al operador, de gran fiabilidad y mantenimiento.

En la tabla 3-4 se visualizan los resultados de la ponderación de los distintos factores con respecto a cada sistema.

Tabla 3-4: Selección del sistema de calentamiento

<b>Alternativas</b>	<b>Regulación de temperatura</b>	<b>Costos</b>	<b>Limpieza</b>	<b>Seguridad</b>	<b><math>\Sigma+1</math></b>	<b>Ponderación</b>
Encamisado	2	1	2	3	8	0,22
R.E. tubular	4	4	3	4	15	<b>0,41</b>
R.E. de inmersión 3U	4	4	3	3	14	0,37
					37	1,00

Fuente: Propia

### 3.3.3. SISTEMA DE AVANCE

El sistema de avance de moldes debe proveer precisión, velocidad y fiabilidad en el mecanismo para asegurar un correcto dosificado de producto sobre los moldes. Por lo que en la sección 2.3.4 se plantean dos alternativas para el sistema de avance que son:

- Avance por carrusel.
- Avance por banda transportadora.

### **3.3.3.1. VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE AVANCE POR CARRUSEL**

Las ventajas para este sistema son:

- Fácil mantenimiento.
- Fabricación simple y económica.
- Uso de línea neumática existente.
- Avance programable con los otros sistemas.

Las desventajas son:

- Riesgo de atascamientos.
- Requiere mayor número de actuadores neumáticos.

### **3.3.3.2. VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE BANDA TRANSPORTADORA**

Las ventajas para este sistema son:

- Precisión en el control del avance de bandejas.
- Avance programable con los otros sistemas.

Las desventajas son:

- Sistema más costoso.
- Requiere mayor mantenimiento y cuidado.

### **3.3.3.3. SELECCIÓN DEL SISTEMA DE AVANCE**

Los parámetros para evaluar cada sistema se exponen a continuación, considerando un valor de 5 para mayor grado de satisfacción y 1 el de menor confiabilidad o insatisfacción.

- **Fiabilidad:** el sistema debe garantizar que no produzca atascamientos en el avance de los moldes, así como también, precisión en la ubicación de dosificación.
- **Mantenimiento:** el sistema debe ser lo más simple posible, con la menor cantidad de piezas móviles, sin riesgo de que sus elementos tengan predisposición a absorber polvos por lo que su lubricación debe ser mínima de tal forma que sus paradas sean rápidas y económicas.

- Operación: el sistema debe ser operado por la misma persona que realiza la preparación del producto y que alimenta la tolva. Por lo que el operario debe tener una holgura de tiempo y espacio físico para controlar todas las etapas de producción que son: preparación, dosificación y solidificación del producto.
- Costos: el factor económico tanto en máquina como en mantenimiento debe ser lo mínimo posible de forma que no encarezca todo el sistema.

En la tabla 3-5 se presentan los resultados de las alternativas según los parámetros de selección.

Tabla 3-5: Selección del sistema de avance.

Alternativas	Fiabilidad	Mante_nimient	Operación	Costos	$\Sigma+1$	Ponderación
Banda transportadora	4	2	3	2	11	0,44
Carrusel	3	4	4	3	14	<b>0,56</b>
					25	1,00

Fuente: Propia

### 3.4. DEFINICIÓN

Se resume el análisis de selección de las alternativas macro en la tabla 3-6.

Tabla 3-6: Definición de sistemas para máquina dosificadora de jabón de glicerina.

SISTEMA	SELECCIÓN DEFINIDA
Dosificación	Volumétrica de émbolo
Mecanismo para eje dosificador	Actuador neumático giratorio
Calentamiento	Resistencia tubular
Avance	Carrusel

Fuente: Propia

### **3.5. PROTOCOLO DE PRUEBAS**

Al finalizar la construcción del prototipo, se debe realizar pruebas de tal forma, que el producto final cumpla con especificaciones y satisfaga los requerimientos del usuario.

El formato para el protocolo de pruebas se muestra en el ANEXO A-5, para el cual se desarrollan tres tipos de pruebas que son:

- Físicas
- De funcionamiento en vacío o pre-comisionado.
- De funcionamiento con carga o comisionado.

#### **3.5.1. PRUEBAS FÍSICAS**

Estas pruebas se usan para determinar las dimensiones generales del prototipo con la finalidad de comprobar medidas con aquellas detalladas en planos.

#### **3.5.2. PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO EN VACÍO O PRE-COMISIONADO**

También llamadas de pre-comisionado, son aquellas pruebas que se realizan a la máquina sin presencia de energía y carga, con la finalidad de evaluar el desempeño de la misma previo a las pruebas con carga o comisionado.

En estas pruebas se evalúan la apropiada instalación de los sistemas neumático, eléctrico y de control, así como también de estabilidad de la estructura en lo que concierne al sistema mecánico.

#### **3.5.3. PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO CON CARGA O COMISIONADO**

También llamadas de comisionado, son aquellas pruebas que se realizan a la máquina con presencia de energía y carga, con la finalidad de evaluar el desempeño de la misma previo a la puesta en marcha y entrega al usuario.

En estas pruebas se evalúan el funcionamiento de los distintos subsistemas integrantes y el desempeño global de la máquina, de tal forma que cumpla con las especificaciones para las que es diseñada.

## CAPÍTULO 4.

### DISEÑO DE ELEMENTOS A CONSTRUIRSE Y SELECCIÓN DE ELEMENTOS NORMALIZADOS

Del capítulo 3 se definen el tipo de máquina, el tipo de calentamiento, el sistema de avance de moldes y el mecanismo dosificador. En este capítulo se analizan los cálculos respectivos para las cargas solicitadas y se seleccionan los elementos normalizados que se encuentran en el mercado local.

El procedimiento a seguir es desde lo más básico y sencillo hacia lo complejo. Es así que, el propio producto es la parte inicial donde arranca el diseño.

#### 4.1. MOLDES

Este subsistema consta de 2 partes fundamentales:

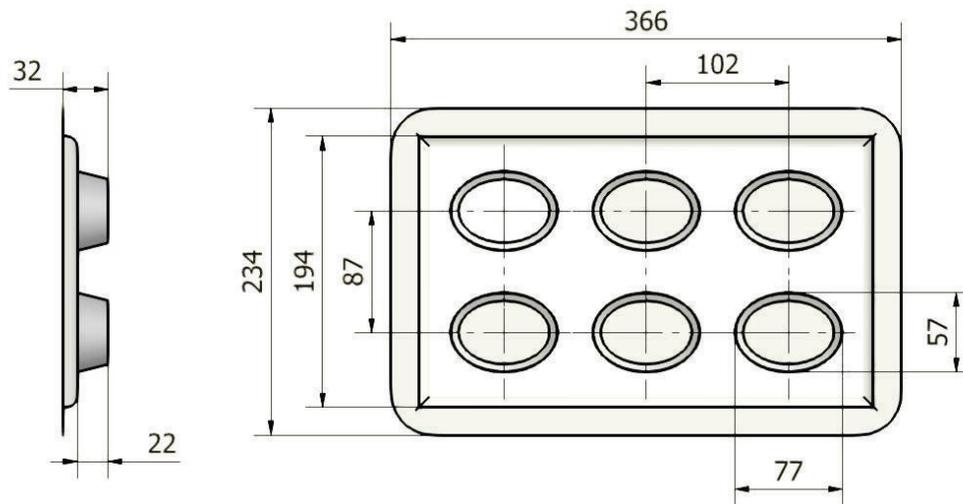
- Molde plástico.
- Bandeja base.

##### 4.1.1. MOLDE PLÁSTICO

Las bandejas plásticas son elementos flexibles fabricados en PET, tienen la función de recibir el producto que se vierte desde la máquina dosificadora y contenerlo hasta su solidificación, tomando la forma de barra de jabón clásico. Se ubica sobre la bandeja plástica de tal forma que encaje perfectamente ubicándolo en el lugar exacto de dosificación.

Estos elementos son comprados en el mercado local en función del tamaño y forma deseados, son reutilizables pero también son débiles. El molde a usar es estándar de forma regular sencilla, puede contener desde 60 [cm<sup>3</sup>] o 2 [oz] hasta 120 [cm<sup>3</sup>] o 4 [oz] de volumen de producto por unidad. Sus dimensiones generales se presentan en la figura 4-1 y son el condicionante primario para empezar el diseño de la máquina, para la ubicación de boquillas dosificadoras y el tamaño del bloque dosificador.

El diseño de la máquina dosificadora considera el rango de volumen mencionado; para efectos de elección del volumen apropiado tan sólo basta con ajustar el sistema de control al punto preciso para la correcta dosificación volumétrica; sin embargo para la presente tesis se toma como punto de partida un volumen de producto de 60 [cm<sup>3</sup>].



**Figura 4-1:** Dimensión de moldes plásticos en milímetros.

Fuente: Propia

#### 4.1.2. BANDEJA BASE

La bandeja base es el elemento sobre el cual se asienta el molde plástico. Cumple la función de servir de base para el molde plástico, transportarlo a la ubicación correcta de dosificación y continuar el recorrido en el sistema de avance de moldes, hasta ser retirado para su solidificación. Luego es reemplazada por otra bandeja base la cual es llevada a posición de dosificación.

Su material de fabricación es nylon 6, comúnmente llamado duralon, ya que el mismo cumple con especificaciones de tipo sanitarias para su uso en la presente máquina dosificadora. Es resistente a la abrasión y conserva sus propiedades mecánicas hasta los 125 [°C]. Las propiedades del nylon 6 están resumidas en la tabla 4-1 y en la figura 4-2.

Tabla 4-1: Propiedades del nylon 6 <sup>6</sup>

Punto de fusión [°C]	220
Resistencia a la tracción [kg/cm <sup>2</sup> °C]	775

Fuente: Propia

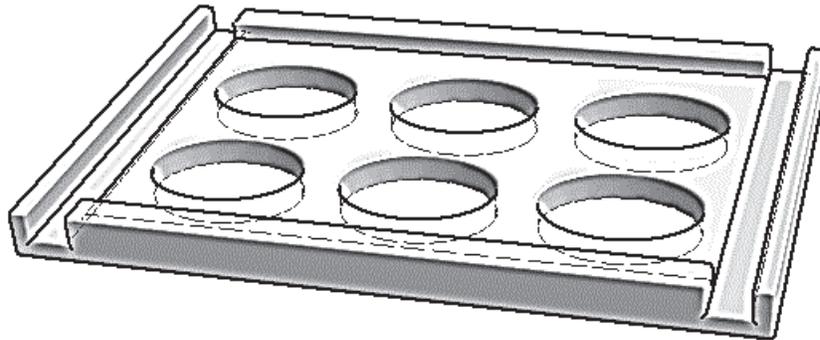
Propiedades	Método de Prueba	Unidades	Cast PA-6		Moldeo por inyección PA-6	
			DAM	50% HR	DAM	50% HR
Densidad	Iso 1183	g/cm <sup>3</sup>	1,15	1,15	1,14	1,14
Temperatura de Fusión DSC	Iso 3146	°C	220	220	215	215
Absorción de agua a:						
23°C y 50% HR	Iso 291	%	---	2	---	3,5
23°C y 100% HR	Iso 62	%	---	6,5	---	9
<b>Propiedades mecánicas</b>						
Resistencia a la tracción	Iso 572	MPa	75	55	85	65
Elongación a la ruptura	Iso 572	%	10	25	10	350
Módulo de flexión	Iso 178	MPa	3000	2200	2300	700
Resistencia al Impacto Izod notched a 23°C	Iso 180	kJ/m <sup>2</sup>	5	---	---	---
Dureza Shore D	Iso 868	---	82	78	80	65

Figura 4-2: Propiedades mecánicas del nylon 6 (duralon)

**Fuente:** Basantes, C. y Gallardo, P. (2009). *Desarrollo de guías de entrenamiento y hojas de proceso para el mecanizado del apaga llamas, martillo del mecanismo de disparo y palanca de sujeción del culatín retráctil del fusil HK utilizando el módulo de manufactura del software NX5 y el centro de mecanizado vertical FADAL VM 3016L del comando logístico Reino de Quito* (Proyecto de Titulación). Facultad de Ingeniería Mecánica. ESPE, Quito.

En la figura 4-3, se presenta un esquema general de la bandeja base a implementar para el presente proyecto, cuyo diseño es meramente geométrico.

<sup>6</sup> Bilurbina, L. y Liesa, F. (1990). *Materiales no metálicos resistentes a la corrosión* (pp. 47). Barcelona: Marcombo.



**Figura 4-3:** Esquema general de la bandeja base

**Fuente:** Propia

Sobre la cara superior se maquina ranuras de diferente nivel con el propósito de maniobrar el molde plástico con otros dispositivos, lo cual se convierte en algo opcional.

## **4.2. BLOQUE DOSIFICADOR**

El bloque dosificador parte de un bloque macizo que es manufacturado por arranque de viruta. Es el elemento crucial que alberga el producto en su volumen exacto a dosificar. Conjuga otros elementos como tolva, bujes, ejes dosificadores, pistones de dosificación y boquillas.

Su material de fabricación es de duraluminio, de norma DIN - EN AW 7021, una aleación muy resistente con grandes propiedades mecánicas, el mismo que puede maquinarse fácilmente, obteniendo un buen acabado superficial. La empresa Acero Comercial S.A. es el distribuidor de dicha aleación llamado comercialmente como aluminio Prodax, proveyendo la ficha técnica del fabricante Gleich Aluminium, la cual se muestra en la figura 4-4.

Alloy's Characteristics		
Alloy	EN AW 7021 (special type)	
Type of Alloy	heat treatable	
Temper	solution heat treated, quenched, artificially aged, T79	
Surface	two surfaces precision milled, roughness $R_a$ 0.4 $\mu\text{m}$ , foiled both sides	
Mechanical Properties <sup>1)</sup>		Typical values
Yield strength $R_{0.2}$	[MPa]	290-340
Ultimate tensile strength $R_m$	[MPa]	320-380
Elongation $A_5$	[%]	2.5 - 4.5
Hardness HBW	[2,5/62,5]	110 - 120
Physical Properties <sup>1)</sup>		Typical values
Density	[g/cm <sup>3</sup> ]	2.80
Module of elasticity	[GPa]	70
Electrical conductivity	[m $\Omega$ · mm <sup>2</sup> ]	21 - 24
Coefficient of thermal expansion	[K <sup>-1</sup> · 10 <sup>-6</sup> ]	23.0
Thermal conductivity	[W/m · K]	125 - 155
Specific heat capacity	[J/kg · K]	875
Processing Characteristics <sup>2)</sup>		
Dimensional stability		2
Machinability		1 - 2
Erodability		1
Weldability (Gas / TIG / MIG / Resistance / EB)		6 / 5 / 2 / 6 / 1
Corrosion resistance (seawater / weather/ stress cracking)		4 / 3 / 4
Use at temperatures (max °C long/short terms) <sup>3)</sup>		120 / 160
Anodising (technical / decorative / hard-) <sup>4)</sup>		3 / 6 / 2
Polishability		1 - 2
Etching		2 - 3
Contact with food (according to EN 602)		no

**Figura 4-4:** Propiedades mecánicas del duraluminio seleccionado

**Fuente:** <http://gleich.de/en/products/gal-aluminium-cast-plates/gal-precision-milled-plate/gal-c330>

Durante los ensayos de viscosidad del jabón base de glicerina, se presentaron ciertas dificultades para trabajar este producto en caliente. Por lo que se verifica la necesidad de introducir elementos de calentamiento al bloque dosificador para evitar solidificaciones del producto que atasquen los mecanismos.

Para iniciar el diseño del bloque dosificador, se consideran tres factores secuenciales:

1. Dimensiones geométricas del molde plástico.
2. Volumen de dosificación y tasa de producción.
3. Carga Térmica.

Acorde a los pasos mencionados se obtiene:

1. Diseño geométrico del bloque dosificador.
2. Determinación de los ciclos de operación.
3. Distribución de resistencias eléctricas.

#### 4.2.1. DISEÑO GEOMÉTRICO DEL BLOQUE DOSIFICADOR

De acuerdo a la figura 4-1, se determina la cantidad de cámaras dosificadoras y las medidas base para el ancho y largo del bloque. Resumiendo, los datos son:

- Volumen de cámara de dosificación: 120 [cm<sup>3</sup>]
- Número de cámaras de dosificación: 6
- Distancia axial entre centros de cámaras de dosificación: 102 [mm]
- Distancia transversal entre centros de cámaras de dosificación: 87 [mm]
- Volumen mínimo que debe albergar el bloque dosificador: 1440 [cm<sup>3</sup>], es decir el doble de la capacidad de dosificación de la máquina por ciclo.
- Ancho del molde plástico: 366 [mm]

Se selecciona para el ancho del bloque dosificador una medida estándar de 350 [mm], similar al ancho del molde plástico, es así que el estudio se direcciona en encontrar la longitud y altura del bloque.

Partiendo de la ecuación de volumen de cada cámara dosificadora, se despeja la longitud de la misma, variable que sirve para determinar las dimensiones del bloque dosificador al variar el diámetro de cada cámara dosificadora.

$$v = \pi \frac{\phi^2}{4} l \quad (4.1)$$

$$l = \frac{4V}{\pi\phi^2} \quad (4.2)$$

Donde:

v: Volumen de cámara dosificadora

Ø: Diámetro de cámara dosificadora

l: Longitud de cámara dosificadora

Y considerando un diámetro de alojamiento del buje para el eje dosificador similar al diámetro del buje de la cámara de dosificación, e igualmente manteniendo la simetría en el diseño del bloque.

Se elabora la tabla 4-1 en la que se ejecuta una valoración de las dimensiones del bloque en función del diámetro de cada cámara dosificadora.

Tabla 4-1: Longitudes de cámara de dosificación

Volumen [mm <sup>3</sup> ]	Ø [mm]	l [mm]
120000	20	382
	30	170
	40	95
	50	61

Fuente: Propia

De entre las longitudes determinadas en la tabla 4-1, se descarta aquellas de 382 [mm] y 170 [mm] puesto que para ejecutar esa carrera se requeriría de un cilindro neumático de vástago con tales dimensiones que resultarían en una máquina con medidas superiores a las requeridas, por lo que el estudio se centra en las medidas de 95 [mm] y 61 [mm].

A partir del requerimiento del volumen mínimo que debe albergar el bloque dosificador, es decir 1440 [cm<sup>3</sup>], y considerando la ecuación (4.3) para determinar el área de este depósito, se determina la altura del mismo mediante la ecuación (4.4).

$$A_{\text{deposito}} = l_{\text{deposito}} \times a_{\text{deposito}} \quad (4.3)$$

$$h_{\text{deposito}} = \frac{V_{\text{deposito}}}{A_{\text{deposito}}} \quad (4.4)$$

Donde:

$A_{\text{depósito}}$ : Área del depósito

$V_{\text{depósito}}$ : Volumen del depósito

$l_{\text{depósito}}$ : Longitud del depósito

$a_{\text{depósito}}$ : Ancho del depósito

$h_{\text{depósito}}$ : Altura del depósito

La medida del ancho del depósito se determina en base a aproximación de las longitudes de trabajo del ancho y largo del molde plástico, es así que se resume la tabla 4.2.

Tabla 4-2: Longitudes de cámara de dosificación

$l_{\text{depósito}}$ [mm]	$a_{\text{depósito}}$ [mm]	$A_{\text{depósito}}$ [mm <sup>2</sup> ]	$V_{\text{depósito}}$ [mm <sup>3</sup> ]	$h_{\text{depósito}}$ [mm]
320	225	72000	1440000	20

Fuente: Propia

Es así que considerando los diámetros de las cámaras de dosificación, un espesor de buje estándar de 3 [mm], una longitud de 10 [mm] para los ductos de conexión de succión y dosificación, y además una profundidad de 16 [mm] para enroscar las boquillas de dosificación en la parte inferior del bloque, se resume en la tabla 4-3 la determinación de la altura del bloque dosificador.

Tabla 4-3: Determinación de la altura del bloque dosificador

$\varnothing$ [mm]	$h_{\text{depósito}}$ [mm]	Espesor buje [mm] x 2	Profundidad rosca boquilla [mm]	Ductos conexión [mm] x 2	Altura bloque [mm]
40	20	6	16	20	102
50	20	6	16	20	112

Fuente: Propia

La medida estándar de altura de bloque se consigue de 100 [mm], por lo que se selecciona entonces un diámetro de cámara de dosificación de 40 [mm], esta medida da la pauta para determinar la longitud del bloque, la misma que guardando simetría en ambos lados resulta en aquella mostrada en la figura 4-5, y cuyas dimensiones finales se dan en detalle en el plano del bloque dosificador en el ANEXO A-9.

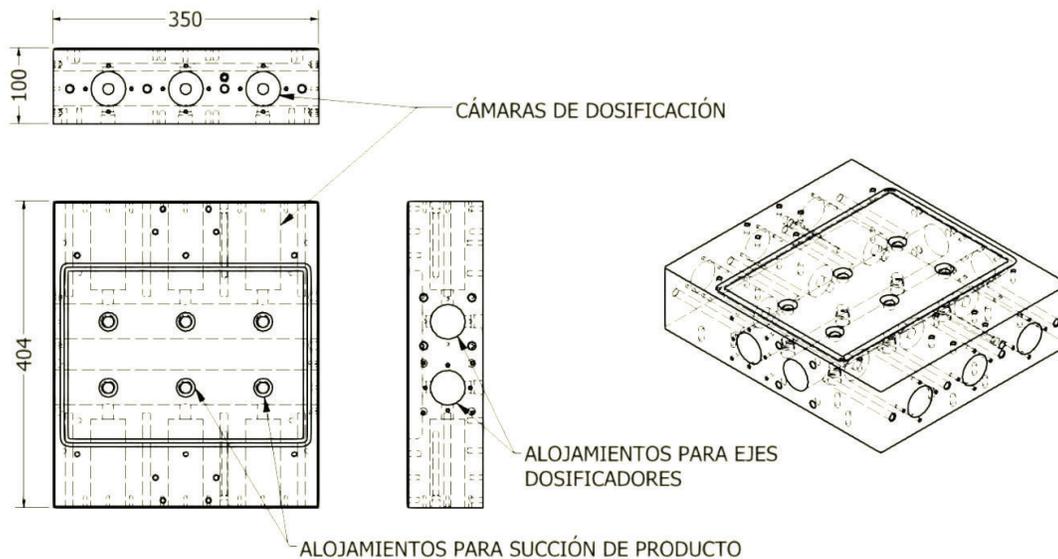


Figura 4-5: Dimensiones generales del bloque dosificador

Fuente: Propia

#### 4.2.2. DETERMINACIÓN DE LOS CICLOS DE OPERACIÓN.

Partiendo de las dimensiones del molde plástico se determinan las primeras dimensiones externas necesarias para el bloque. Subsiguientemente, con el volumen necesario se determina el cilindro de depósito del producto, para lo cual se basa en los calibres de bujes existentes en el mercado, al igual que la determinación del diámetro para el eje de dosificación se basa en el buje seleccionado.

Dado que la capacidad de la dosificadora es de 72 unidades por minuto, se presenta el siguiente cálculo:

C: Capacidad = 72 [uni/min]

Vi: Volumen/uni = 60 [cm<sup>3</sup>] – 120 [cm<sup>3</sup>]

n: Número de unidades por molde = 6 [uni]

$$\text{Número de ciclos de dosificación } \#C/\text{min} = \frac{C}{n} \quad (4.5)$$

$$= \frac{72 \left[ \frac{\text{uni}}{\text{min}} \right]}{6 [\text{uni}]} = 12 \left[ \frac{\text{ciclos}}{\text{min}} \right]$$

Por lo que 1 ciclo de dosificación se deberá ejecutar en 5 [s]; entendiéndose como tal las siguientes operaciones:

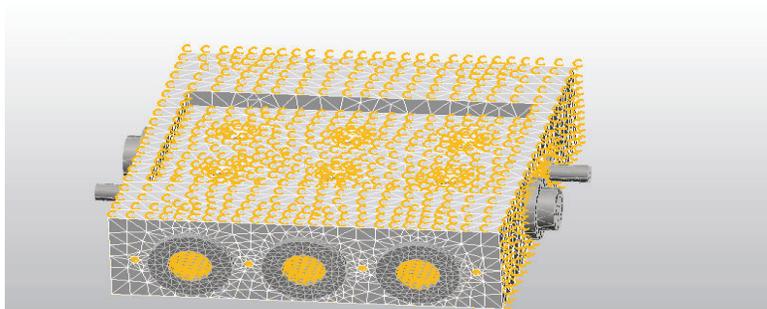
- Posicionamiento de los ejes dosificadores en la posición de succión, mediante la rotación de los actuadores neumáticos giratorios: 1 [s].
- Fase de succión por parte del desplazamiento alternativo de los émbolos dosificadores mediante el accionamiento de los cilindros neumáticos: 1.5 [s].
- Posicionamiento de los ejes dosificadores en la posición de dosificación, mediante la rotación de los actuadores neumáticos giratorios: 1 [s].
- Fase de dosificación por parte del desplazamiento alternativo de los émbolos dosificadores mediante el accionamiento de los cilindros neumáticos: 1.5 [s].

#### 4.2.3. CARGA TÉRMICA

El bloque dosificador debe mantener al jabón de glicerina en un rango de temperatura de entre 75 [°C] y 80 [°C], por lo que se disponen de resistencias térmicas tubulares a través del mismo con la finalidad de lograr dicho estado térmico.

La complejidad de diseño del bloque justifica el uso de herramientas computacionales con el fin de generar una simulación térmica del mismo en todo su volumen; es por tal razón, que se emplea el software “AutoDesk Simulation Mechanical,” cuyos resultados de simulaciones se encuentran en el Anexo A-3.

Se presenta a continuación en la figura 4-6, el mallado del bloque a simular:



**Figura 4-6:** Mallado del bloque a simular térmicamente

**Fuente:** Propia

En la simulación térmica mencionada, se ejecutan 3 escenarios posibles, para determinar el comportamiento de las resistencias eléctricas con respecto al producto. Se realiza también con los elementos principales ensamblados, como son: bujes y ejes dosificadores. Las cargas térmicas incluyen convección natural con el medio ambiente, y convección con el fluido de trabajo.

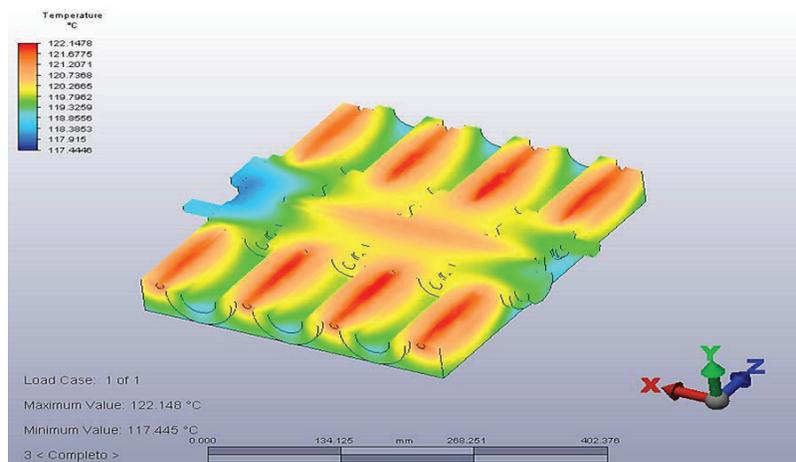
#### 4.2.3.1. ESCENARIO TÉRMICO 1

El primer escenario incluye resistencias térmicas laterales y una longitudinal. Puesto que se busca mantener el producto a la temperatura de trabajo. La temperatura de convección con el fluido de trabajo es de 80 [°C] y su coeficiente de convección es 25 [W/m<sup>2</sup>°C]<sup>7</sup>

Por tanto, las variables son:

- 8 resistencias térmicas laterales 100 [W]
- 1 resistencia térmica axial 100 [W]
- Convección a 80 [°C]

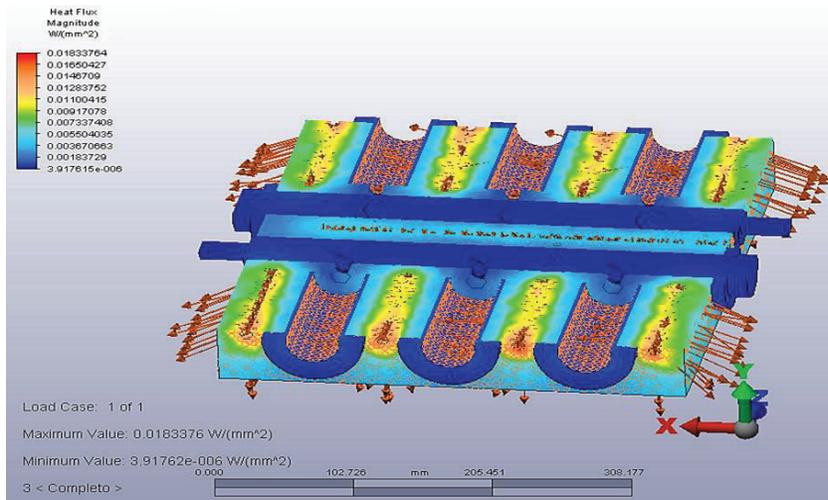
Cuyas simulaciones térmica y de flujo de calor se muestran a continuación en las figuras 4-7 y 4-8 respectivamente:



**Figura 4-7:** Simulación térmica de escenario 1

Fuente: Propia

<sup>7</sup> Kayode, C. (2007). *Ludwig's Applied Process Design for Chemical and Petrochemical Plants*. USA: Elsevier.



**Figura 4-8:** Simulación de flujo de calor de escenario 1

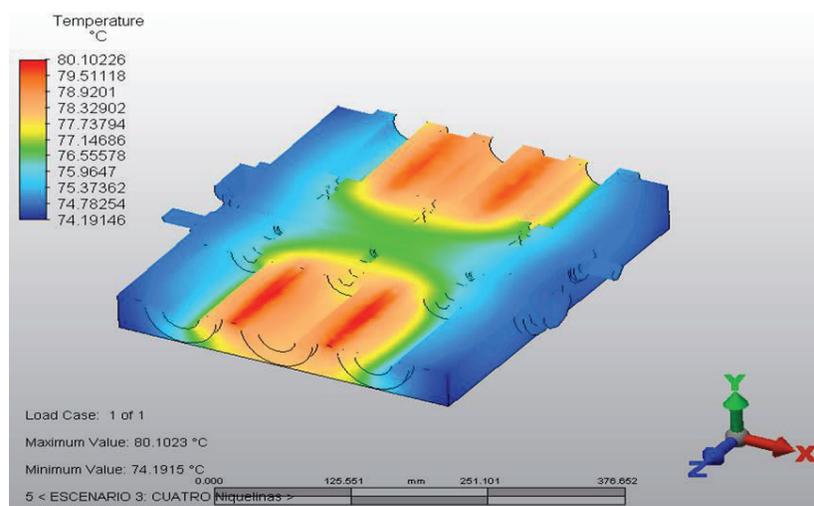
Fuente: Propia

#### 4.2.3.2. ESCENARIO TÉRMICO 2

Debido a los resultados del primer escenario, se plantea reducir las resistencias térmicas:

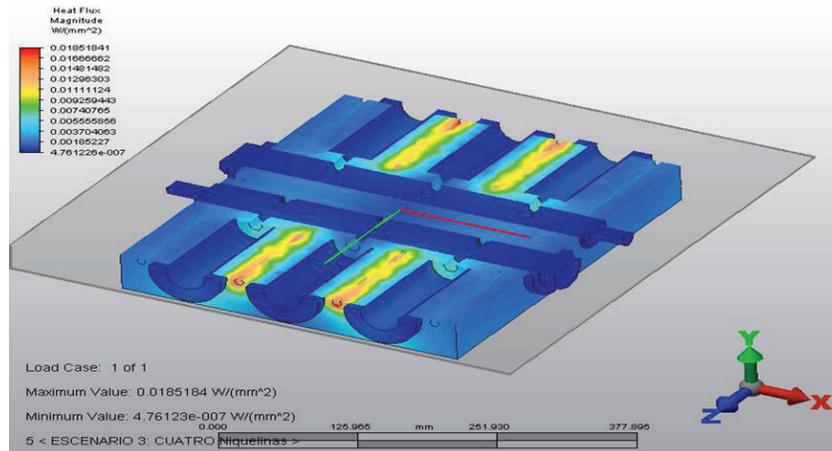
- 4 resistencias térmicas laterales 100 [W]
- Convección a 80 [°C]

Cuyas simulaciones térmica y de flujo de calor se muestran a continuación en las figuras 4-9 y 4-10 respectivamente:



**Figura 4-9:** Simulación térmica de escenario 2

Fuente: Propia



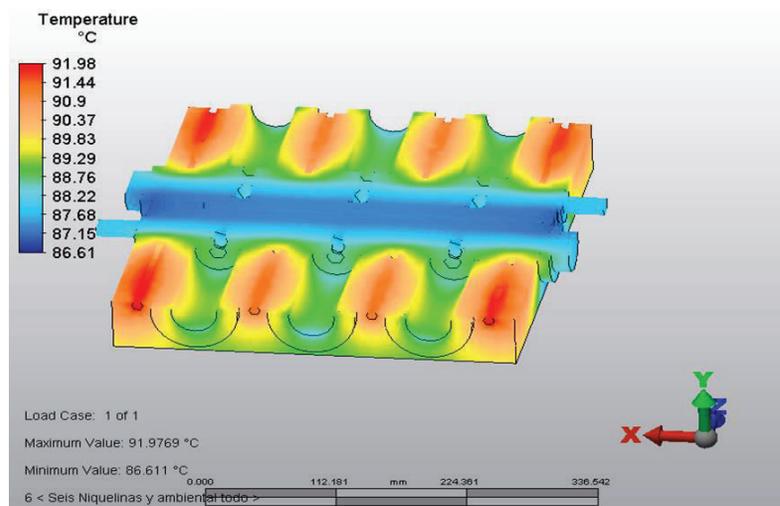
**Figura 4-10:** Simulación de flujo de calor de escenario 2

Fuente: Propia

#### 4.2.3.3. ESCENARIO TÉRMICO 3

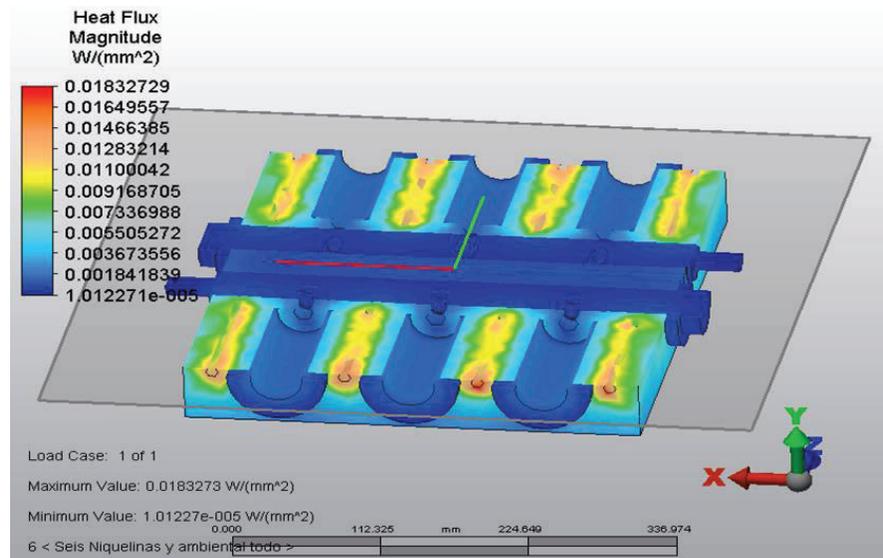
Para asegurar que el producto se mantenga a una temperatura de trabajo adecuada, se vuelve a simular sólo las 8 resistencias laterales, y una convección en las superficies de contacto con el fluido de trabajo a 20 [°C], asumiendo que se encuentra sin producto. Los resultados se presentan en las figuras 4-11 y 4-12, con las variables:

- 8 resistencias térmicas laterales de 100 [W]
- Convección a 20 [°C]



**Figura 4-11:** Simulación térmica de escenario 3

Fuente: Propia



**Figura 4-12:** Simulación de flujo de calor de escenario 3

**Fuente:** Propia

De la simulación térmica realizada con ayuda del software descrito se desprenden los siguientes resultados:

- Número de resistencias térmicas laterales tubulares: 8
- Longitud: 125 [mm]
- Diámetro: 9 [mm]
- Potencia disipada por resistencia: 100 [W]

Para mantener el rango de temperaturas mencionado, se implementa en el bloque dosificador RTDs (Resistance Temperature Detectors) siendo las más comunes, las PT-100, las mismas que censan la temperatura y determinan el funcionamiento de las resistencias térmicas tubulares por medio del microprocesador.

Es sumamente importante la regulación del rango de temperatura por medio de las RTDs en función de la posición en donde se instalarán las mismas dentro del bloque dosificador, con la finalidad de que en la superficie interna de cada cámara de dosificación en contacto con el producto se garantice una temperatura ideal de operación.

### 4.3.EJE DOSIFICADOR

El eje dosificador es fabricado a partir de un eje de acero inoxidable AISI 304, de diámetro efectivo para el área de dosificación de 40 [mm].

Este elemento gira internamente dentro del buje de dosificación un ángulo de 90° accionado por el actuador neumático giratorio. Este dispositivo posiciona y bloquea entre tolva – cámara de dosificación - boquilla de dosificación, de tal forma que contiene agujeros maquinados en “L” para cada boquilla, permitiendo el llenado en la cámara de dosificación en la fase de succión y luego la dosificación a los moldes una vez posicionado el eje.

El eje dosificador por un lado es accionado por un actuador neumático giratorio en contacto con su chavetero, además de que el mismo se asienta sobre el mismo actuador y por otro lado se asienta sobre una chumacera, la misma que facilita el alineamiento del eje.

Debido a parámetros iniciales de diseño el diámetro del eje dosificador es de 40 [mm], además en el acople eje - actuador giratorio está provisto de un incremento en su sección a un diámetro de 50 [mm]; así mismo cambia su sección a un diámetro de 20 [mm] en el apoyo de su extremo dentro de la chumacera. Estas medidas son validadas por los cálculos a seguir en el presente capítulo.

El eje dosificador, al igual que los émbolos dosificadores, trabaja dentro de un buje metálico, el cual evitará el desgaste del bloque dosificador por efectos de rozamiento metálico al girar el eje dosificador.

A continuación se presentan características generales del eje:

- Material: Acero inoxidable AISI A304
- Límite de fluencia ( $S_y$ ): 31.9 [Ksi]
- Límite de rotura ( $S_{ut}$ ): 75.4 [Ksi]
- Módulo de elasticidad (E): 200 [GPa]
- Masa: 3.755 [Kg]
- Momento de inercia J: 780,67 [kg.mm<sup>2</sup>]

Una vez determinada la geometría del eje, se valida la misma mediante la mecánica de materiales.

Se presentan en la figura 4-13 las dimensiones del eje en cuestión:



**Figura 4-13:** Medidas generales del eje dosificador

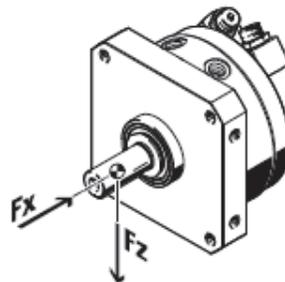
Fuente: Propia

Como tentativa de elección para originar el movimiento rotativo del eje se selecciona el actuador neumático giratorio FESTO con las siguientes características:

- Código: DMS-32-270-P-A-B
- Momento de giro @ 6 [bar]: 10 [Nm]
- Carga axial dinámica  $F_x$  máxima admisible en el eje de salida: 75 [N]
- Carga radial dinámica  $F_z$  máxima admisible en el eje de salida: 200 [N]
- Tiempo de giro 90°: 1 [s]
- Momento de inercia máximo admisible de la masa en 1 [s]: 0.025 [Kgm<sup>2</sup>]

El mismo que debido a sus propiedades puede perfectamente servir como actuador del eje dosificador; más detalles del actuador neumático giratorio seleccionado se encuentran en el ANEXO A-7.

En la figura 4-14 se presenta un esquema del actuador en cuestión:



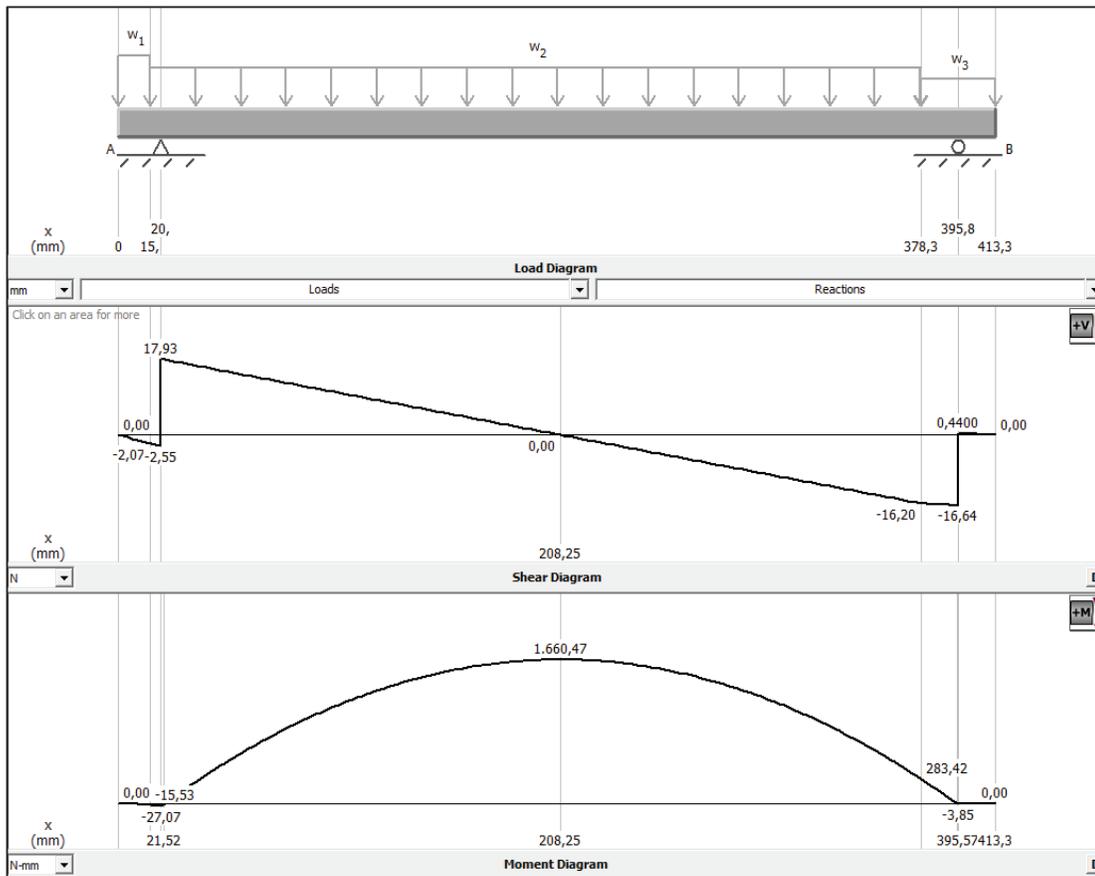
**Figura 4-14:** Fuerzas actuantes sobre actuador neumático giratorio

Fuente: Actuadores neumáticos DSM/DSM-B, FESTO, Pág. 31

Para el cálculo del eje es necesario ejecutar un análisis por resistencia estática y otro por resistencia a fatiga.

#### 4.3.1. CÁLCULO POR RESISTENCIA ESTÁTICA DEL EJE DOSIFICADOR

Se presenta en la figura 4-15 el diagrama de cuerpo libre del eje con sus respectivos diagramas de fuerza cortante y momento flector.



**Figura 4-15:** Diagramas de cuerpo libre, fuerza cortante y momento flector del eje

Fuente: Propia

Se analiza el eje en su sección crítica de menor diámetro de  $\varnothing 20$  [mm], esto es en el asiento con la chumacera, se presenta en la figura la sección del eje en cuestión:

Se dispone de la siguiente información:

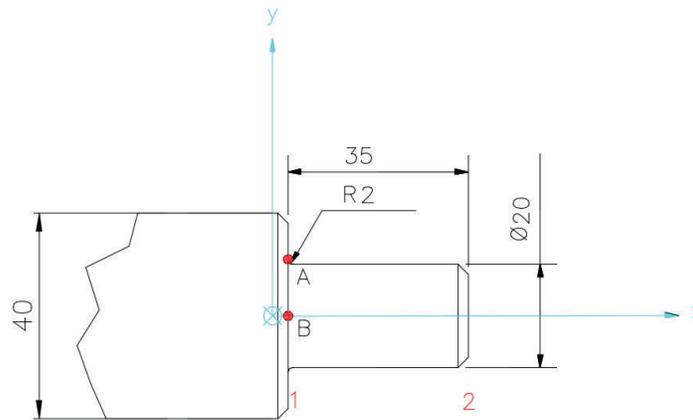
T: Momento Torsor, 10 [Nm]

M: Momento flector  $\approx 0.3$  [Nm]

r: Radio del eje, 0.010 [m]

$V_1$ : Fuerza cortante  $\approx 17$  [N]

En la figura 4-16 se presenta la sección del eje dosificador en cuestión.



**Figura 4-16:** Sección del eje dosificador

Fuente: Propia

#### 4.3.1.1. ESFUERZO CORTANTE 1

Se calcula con la ecuación (4.6) el esfuerzo cortante  $\zeta_1$

$$\tau_1 = \frac{4V}{3\pi r^2} \quad (4.6)$$

Se reemplaza valores en la ecuación (4.6), y se obtiene:

$$\tau_1 = 0.0721 \text{ [MPa]}$$

#### 4.3.1.2. ESFUERZO CORTANTE 2

Se calcula con la ecuación (4.7) el esfuerzo cortante  $\zeta_2$

$$\tau_2 = \frac{2T}{\pi r^3} \quad (4.7)$$

Se reemplaza valores en la ecuación (4.7), y se tiene que:

$$\tau_2 = 6.37 \text{ [MPa]}$$

### 4.3.1.3. ESFUERZO DE TENSIÓN

Se calcula con la ecuación (4.8) el esfuerzo de tensión en A.

$$\sigma_A = \frac{4M}{\pi r^3} \quad (4.8)$$

Se reemplaza valores en la ecuación (4.8), y se obtiene:

$$\sigma_A = 0.38 \text{ [MPa]}$$

### 4.3.1.4. ESFUERZOS PRINCIPALES Y CORTANTE MÁXIMO

La sección analizada está sometida a un estado de esfuerzo plano, como se indica a continuación en la figura 4-17.

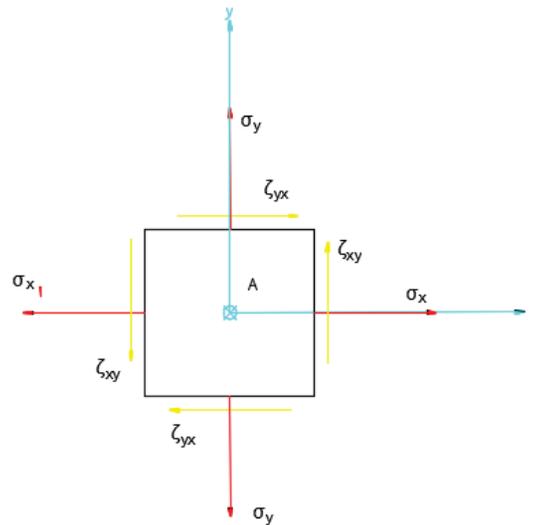


Figura 4-17: Estado de esfuerzo plano de la sección analizada

Fuente: Propia

Se analizan los esfuerzos en el punto A:

$$\sigma_x = \sigma_A = 0.38 \text{ [MPa]}, \quad \sigma_y = 0, \quad \tau_{xy} = -\tau_2 = -6.37 \text{ [MPa]}$$

Por lo tanto, los esfuerzos principales de tensión y compresión en este punto se dan por la ecuación (4.9):

$$\sigma_{1,2} = \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{\sigma_x - \sigma_y}{2}\right)^2 + \tau_{xy}^2} \quad (4.9)$$

Reemplazando valores en la ecuación (4.9), se obtiene:

$$\sigma_1 = 6.56 \text{ [MPa]}, \quad \sigma_2 = -6.18 \text{ [MPa]}$$

El esfuerzo cortante máximo se obtiene a partir de la ecuación (4.10):

$$\tau_{\max} = \tau_1 + \tau_2 \quad (4.10)$$

Reemplazando valores en la ecuación (4.10), se tiene que:

$$\tau_{\max} = 6.4421 \text{ [MPa]}$$

#### 4.3.2. CÁLCULO POR RESISTENCIA A FATIGA DEL EJE DOSIFICADOR

Para tal cálculo se requiere el uso de la ecuación (4.11):

$$S_e = K_a K_b K_c K_d K_e S'_e \quad (4.11)$$

Donde:

- $S'_e$ : Límite de resistencia a la fatiga del eje
- $K_a$ : Factor de superficie
- $K_b$ : Factor de tamaño
- $K_c$ : Factor de confiabilidad
- $K_d$ : Factor de temperatura
- $K_e$ : Factor de modificación por concentración de esfuerzos

Cuyos valores se determinan a continuación:

##### 4.3.2.1. LÍMITE DE RESISTENCIA A LA FATIGA DEL EJE

Se calcula el límite de resistencia a la fatiga del eje  $S'_e$  mediante la ecuación (4.12):

$$S'_e = 0.5S_{ut} \quad (4.12)$$

Reemplazando valores en la ecuación (4.12), se obtiene:

$$S'_e = 37.7 \text{ [Ksi]}$$

### 4.3.2.2. FACTOR DE SUPERFICIE

Para determinar el factor de superficie, se debe referir al diagrama de factores de modificación de superficies según el acabado superficial para el acero.

En el caso del eje dosificador, el mismo es maquinado en frío, por lo tanto al referirse al diagrama de la figura 4-18, se determina que:

$$K_a = 0.78$$

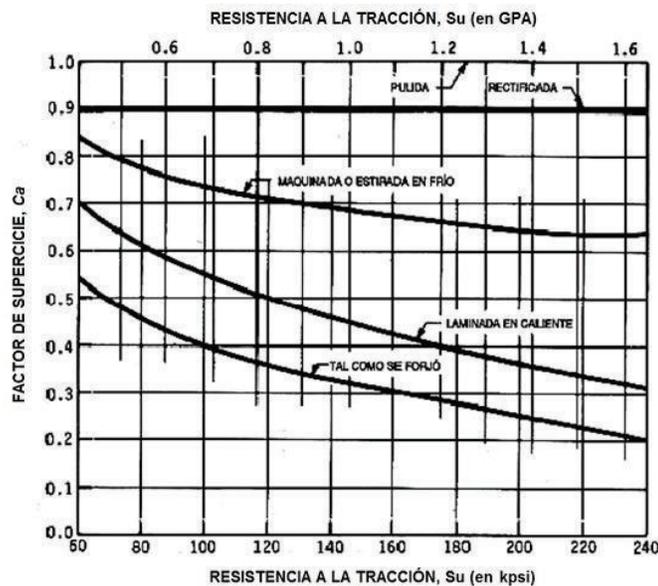


Figura 4-18: Factores de modificación de superficies según el acabado superficial para el acero

Fuente: <http://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn217.html>

### 4.3.2.3. FACTOR DE TAMAÑO

El factor de tamaño para la sección del eje en cuestión, está dado por la ecuación (4.13):

$$K_b = 1.24d^{-0.107} \quad (4.13)$$

Reemplazando valores en la ecuación (4.13), se tiene que:

$$K_b = 0.89$$

#### 4.3.2.4. FACTOR DE CONFIABILIDAD

Para calcular dicho factor es necesario en primera instancia remitirse a la tabla 4-4, donde se indica el factor de desviación con respecto a la probabilidad de supervivencia.

Tabla 4-4: Factores de confiabilidad en función de la probabilidad de supervivencia

Probabilidad de supervivencia (%)	D
85	1.0
90	1.3
95	1.6
99	2.3
99.9	3.1
99.99	3.7

Fuente: Propia

Ahora el factor de confiabilidad se determina con la ecuación (4.14):

$$K_c = 1 - 0.08D \quad (4.14)$$

Tomando en consideración una probabilidad de supervivencia del 99%, y reemplazando valores en la ecuación (4.14) se obtiene:

$$K_c = 0.816$$

#### 4.3.2.5. FACTOR DE TEMPERATURA

Al trabajar la máquina hasta una temperatura máxima promedio de 80[°C], se determina que:

$$K_d = 1$$

#### 4.3.2.6. FACTOR DE MODIFICACIÓN POR CONCENTRACIÓN DE ESFUERZOS

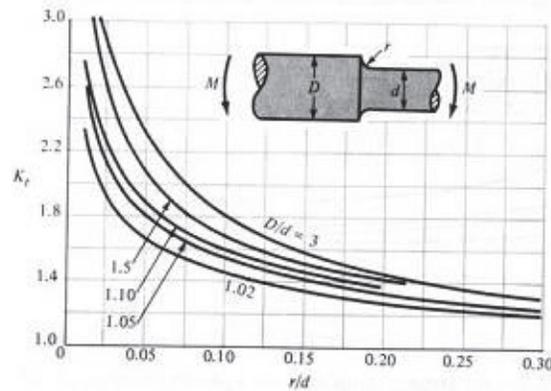
Para encontrar este factor se debe determinar los parámetros a continuación:

- Factor  $K_t$

El mismo se encuentra en primera instancia utilizando las ecuaciones (4.15) y (4.16), y contrastando sus resultados en la figura 4-19.

$$\frac{D}{d} = \frac{40}{20} = 2 \quad (4.15)$$

$$\frac{r}{d} = \frac{2}{20} = 0.10 \quad (4.16)$$



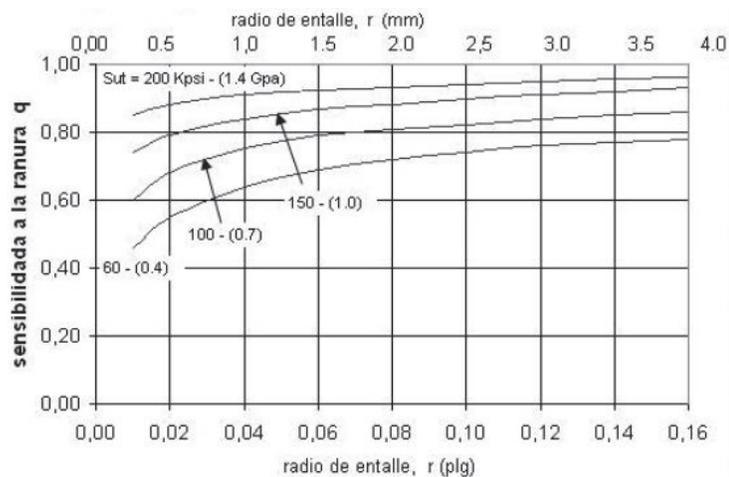
**Figura 4-19:** Diagrama para concentración de esfuerzos  $K_t$  en barra circular con entalle

Fuente: <http://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn217.html>

Por lo tanto:

$$K_t = 1.7$$

Para determinar la sensibilidad a la ranura  $q$ , se emplea la figura 4-20.



**Figura 4-20:** Sensibilidad de la ranura  $q$  con respecto al radio de entalle

Fuente: <http://elemaquina.webs.com/EMA14.pdf>

Siendo:

$$q = 0.7$$

- Factor de esfuerzos diversos

Se determina mediante la ecuación (4.17):

$$K_f = 1 + q(K_t - 1) \quad (4.17)$$

Reemplazando valores en la ecuación (4.17), se tiene que:

$$K_f = 1.49$$

Una vez determinado el factor de esfuerzos diversos, se determina el factor de modificación por concentración de esfuerzos, mediante la ecuación (4.18):

$$K_e = \frac{1}{K_f} \quad (4.18)$$

$$K_e = 0.671$$

Una vez determinados todos los factores que afectan la resistencia límite a la fatiga, se hace uso de la ecuación (4.11).

$$S_e = K_a K_b K_c K_d K_e S'_e$$

$$S_e = 0.78 \times 0.89 \times 0.816 \times 1 \times 0.671 \times 37.7 \text{ Ksi}$$

$$S_e = 14.33 \text{ Ksi} \cong 98.8 \text{ [MPa]}$$

#### 4.3.3. VON MISES

Partiendo del esfuerzo principal en x y el esfuerzo cortante en el punto A, se tiene que:

$$\sigma' = \sqrt{\sigma_x^2 + \tau_{xy}^2} \quad (4.19)$$

Donde:

$\sigma'$ : Esfuerzo de Von Mises

$\sigma_x$ : Esfuerzo principal en x, 0.38 [MPa]

$\tau_{xy}$ : Esfuerzo cortante, -6.37 [MPa]

Reemplazando valores en la ecuación (4.19), se obtiene:

$$\sigma' = 6.38 \text{ [Mpa]}$$

#### 4.3.4. FACTOR DE SEGURIDAD ESTÁTICO

Se determina usando la ecuación (4.20):

$$n_{\text{estatico}} = \frac{S_y}{\sigma'} \quad (4.20)$$

Donde:

$\sigma'$  Esfuerzo de Von Mises, 6.38 [Mpa]

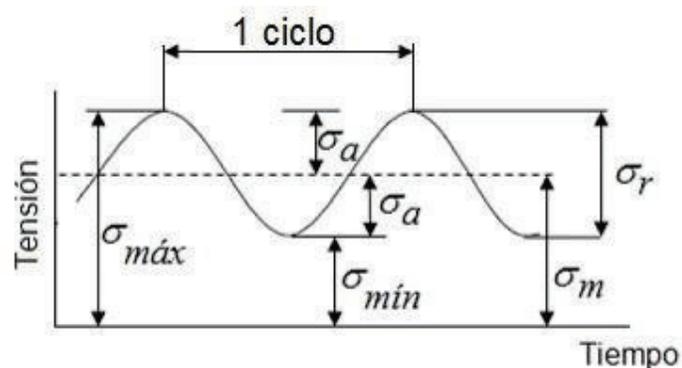
$S_y$  Límite de fluencia, 220 [Mpa]

Reemplazando estos valores en la ecuación (4.20) se tiene que:

$$n_{\text{estatico}} = 34.5$$

#### 4.3.5. RESISTENCIA A LA FATIGA BAJO ESFUERZOS FLUCTUANTES

Para determinar la resistencia a la fatiga debido a cargas cíclicas según la figura 4-21, antes de que se produzca el fallo, se usa el método de Goodman.



**Figura 4-21:** Esfuerzo cíclico típico fluctuante

**Fuente:** <http://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn217.html>

En la figura 4-21 se definen:

$\sigma_{min}$ : Esfuerzo mínimo, 0 [MPa]

$\sigma_{max}$ : Esfuerzo máximo, 6.38 [MPa]

$\sigma_a$ : Amplitud del esfuerzo

$\sigma_m$ : Esfuerzo medio

$\sigma_r$ : Rango del esfuerzo

Se definen las ecuaciones (4.21) y (4.22) para determinar los esfuerzos:

$$\sigma_a = \frac{\sigma_{max} + \sigma_{min}}{2} \quad (4.21)$$

Reemplazando valores en la ecuación (4.21), se obtiene:

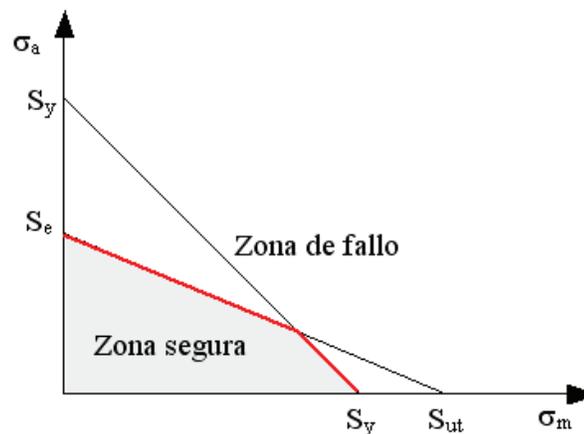
$$\sigma_a = 3.19 \text{ [MPa]}$$

$$\sigma_m = \frac{\sigma_{max} - \sigma_{min}}{2} \quad (4.22)$$

Reemplazando valores en la ecuación (4.22), se obtiene:

$$\sigma_m = 3.19 \text{ [MPa]}$$

Se muestra el criterio de Goodman modificado que se representa según la figura 4-22.



**Figura 4-22:** Criterio de Goodman modificado

Fuente: [http://www.mecapedia.uji.es/criterio\\_de\\_Goodman\\_modificado.htm](http://www.mecapedia.uji.es/criterio_de_Goodman_modificado.htm)

Por lo que el factor de seguridad dinámico se obtiene mediante la ecuación (4.23):

$$n_d = \frac{1}{\frac{\sigma_m + \sigma_a}{s_{ut} + s_e}} \quad (4.23)$$

$$n_d = \frac{1}{\frac{3.19}{520} + \frac{3.19}{98.8}}$$

$$n_d = 26$$

#### 4.4. CILINDROS NEUMÁTICOS

Tomando en cuenta las consideraciones de diseño anteriormente mencionadas para el cálculo de los cilindros neumáticos, se tomará como base el cilindro neumático FESTO de las siguientes características:

- Cilindros compactos ADN-EL, con rosca exterior y con bloqueo en un final.

##### 4.4.1. CILINDROS NEUMÁTICOS DE UNIDAD DOSIFICADORA

Se presenta en la figura 4-23 las fuerzas teóricas desarrolladas por los cilindros ADN-EL:

Fuerzas [N]								
Diámetro del émbolo	20	25	32	40	50	63	80	100
Fuerza teórica con 6 bar en avance	188	295	483	754	1178	1870	3016	4712
Fuerza teórica con 6 bar en retroceso	141	247	415	686	1057	1750	2827	4524
Fuerza de sujeción	250	500			2000		5000	

**Figura 4-23:** Fuerzas teóricas desarrolladas por cilindros compactos ADN-EL

**Fuente:** FESTO. *Cilindros compactos ADN/AEN, ISO 21287* (pp. 50).

Se recomienda aprovechar únicamente el 50% de las fuerzas teóricas indicadas; por lo tanto, la fuerza que debe superar el cilindro es el peso ( $W$ ) de los elementos de dosificación (Se desprecia la fuerza de rozamiento que pudiera generar la solución de jabón base de glicerina contra el desplazamiento de los émbolos, al ser ésta inclusive un agente lubricante a la temperatura de trabajo), se toma un aproximado de los pesos que ejercen los elementos de dosificación mostrado en la figura 4-36.

$$W = W_{\text{placa madre}} + W_{\text{émbolos-vástagos}} + W_{\text{soportes}} + W_{\text{riel-carro}} + W_{\text{producto}} \quad (4.24)$$

$$W = [1.5 + (3 \times 0.4) + 3 + 0.7 + (3 \times 0.1)][\text{Kg}] \times 9.82[\text{m/s}^2] = 65.8 [\text{N}]$$

Ahora tomando en consideración que estos cilindros pueden trabajar con una presión neumática desde los 2.5 [bar]; para que su trabajo sea óptimo se elabora la tabla 4-5 de fuerzas teóricas desarrolladas en retroceso:

Tabla 4-5: Fuerzas teóricas de cilindros en retroceso ADN FESTO a 2,5 [bar]

<b>Fuerza a 2.5 [bar]</b>				
Ø émbolo [mm]	20	25	32	40
F <sub>t</sub> en retroceso [N]	59	103	173	286
50% F <sub>t</sub>	29.5	51.5	86.5	143

Fuente: Propia

Por lo tanto para esta aplicación es más que suficiente un cilindro con un diámetro de émbolo de 32 [mm].

El código de cilindro FESTO es el siguiente: AND-32-100-ELH-A-P-A, los mismos que son empleados a cada lado opuesto del bloque dosificador, y sus características se muestran en el ANEXO A-7.

#### 4.4.2. CILINDROS NEUMÁTICOS DEL SISTEMA DE AVANCE

Al igual que los cilindros que se emplean para la unidad dosificadora, se considera por igual el uso de los cilindros ADN-EL para originar el movimiento alternativo para el desplazamiento en carrusel de las bandejas base y moldes.

Las fuerzas que deben vencer los cilindros neumáticos son el peso de las bandejas base con moldes y producto sumado a la fuerza de fricción que estos ejercen contra la plancha de acero inoxidable, por lo tanto se presenta el cálculo para determinar dichas fuerzas, mediante las ecuaciones (4.25), (4.26) y (4.27):

$$F = n(W + Fr) \quad (4.25)$$

Donde:

F: Fuerza a superar por cilindros.

n: número de moldes

W: peso de bandejas con moldes y producto@<sub>120 [cm<sup>3</sup>]</sub>

F<sub>R</sub>: Fuerza de rozamiento

$$F_R = \mu N \quad (4.26)$$

Donde:

$\mu$ : Coeficiente de rozamiento entre duralon y acero  $\approx 0.2$

N: Normal, en este caso W

$$W = (m_{\text{bandeja}} + m_{\text{molde}} + m_{\text{producto}}) \times g \quad (4.27)$$

$$W = [1.171 + 0.051 + 6(0.127)] [\text{kg}] \times 9.8 [\text{m/s}^2]$$

$$W = 20 [\text{N}]$$

Se reemplaza valores en la ecuación (4.26) y se obtiene:

$$F_R = 0.2 \times 20 [\text{N}]$$

$$F_R = 4 [\text{N}]$$

- Tramo longitudinal del carrusel:

$$F = 4(20 + 4) [\text{N}]$$

$$F = 96 [\text{N}]$$

- Tramo transversal del carrusel:

$$F = 3(20 + 4) [\text{N}]$$

$$F = 72 [\text{N}]$$

Por lo tanto al tomar las mismas consideraciones de la sección 4.4.1, se elabora la tabla 4-6 considerando el avance de los cilindros neumáticos.

Tabla 4-6: Fuerzas teóricas de cilindros en avance ADN FESTO a 2,5 [bar]

<b>Fuerza a 2.5 [bar]</b>				
Ø émbolo [mm]	20	25	32	40
F <sub>t</sub> en avance [N]	78	123	201	314
50% F <sub>t</sub>	39	61.5	100.5	157

Fuente: Propia

Por lo tanto para ambos tramos longitudinal y transversal se seleccionan cilindros con diámetro de émbolo de 32 [mm], siendo sus códigos:

- Tramo longitudinal del carrusel: AND-32-370-ELH-A-P-A
- Tramo transversal del carrusel: AND-32-240-ELH-A-P-A

#### **4.5.BUJES**

Los bujes se instalan en los alojamientos del bloque dosificador donde existe un trabajo mecánico de deslizamiento, evitando así el desgaste de las caras internas de los alojamientos del bloque al actuar los ejes y émbolos de dosificación. Por lo tanto, los bujes necesarios se ubican en las cámaras de dosificación de émbolos y de los ejes dosificadores.

Los bujes pueden ser comprados en calibres, o pueden ser fabricados, según la necesidad, costos e instalación. Estos elementos deben trabajar con ajustes tabulados de acuerdo a la aplicación a brindar.

Es importante que el material del buje sea apropiado para la aplicación, por tanto se selecciona un material antifricción ya que el mismo está en contacto con elementos de acero inoxidable.

##### **4.5.1. BUJES DE DOSIFICACIÓN**

Los bujes de dosificación tienen agujeros radiales para que el eje dosificador tenga acceso a la tolva y a las cámaras de dosificación. Por lo tanto, estos bujes no pueden tener un movimiento giratorio, lo cual se puede solucionar con un ajuste forzado muy duro, o con bridas en un extremo, lógicamente, la primera opción encarece totalmente.

El buje seleccionado corresponde al de las siguientes características:

- Diámetro interno: 40 [mm]
- Espesor: 3 [mm]
- Material: Bronce SAE 40
- Longitud total incluida brida: 360 [mm]

#### **4.5.2. BUJES DE CÁMARA DE DOSIFICACIÓN**

Los bujes de cámara de dosificación tienen la función de evitar el desgaste entre el bloque dosificador y los émbolos de dosificación, además de formar la cámara de dosificación, igualmente tienen un extremo bridado para acoplarlo al bloque dosificador.

El buje seleccionado corresponde al de las siguientes características:

- Diámetro interno: 40 [mm]
- Espesor: 3 [mm]
- Material: Bronce SAE 40
- Longitud total incluida brida: 127 [mm]

#### **4.6. EMBOLOS DOSIFICADORES**

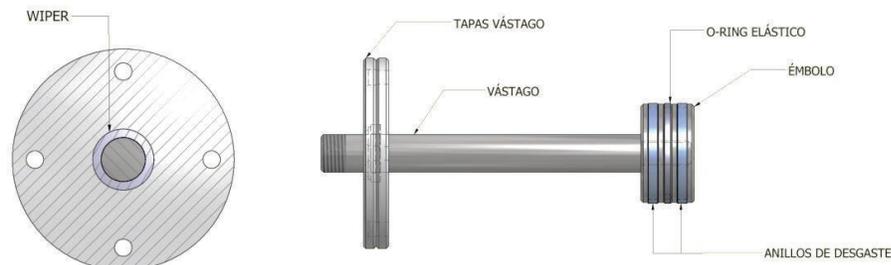
El bloque dosificador tiene por diseño 6 cámaras de dosificación, las cuales operan por la acción alternativa de émbolos de dosificación, los mismos que cumplen las funciones de succión y dosificación de producto.

Los émbolos dosificadores incluyen en su diseño 2 anillos de desgaste a cada extremo, los cuales proporcionan la función de cojinete entre el émbolo como tal y el buje durante el movimiento de las carreras de succión y dosificación, y en condiciones estáticas.

Entre los anillos de desgaste se ubica un o-ring elástico, el mismo que cumple la función de sello que impida que el producto se escurra hacia afuera de las cámaras de dosificación.

En la cara externa de las cámaras de dosificación se ubican tapas fabricadas en duralon, las mismas que albergan en su interior un wiper o rascador/limpiador, el mismo que tiene la función de impedir que partículas externas extrañas de polvo o suciedad, etc. se adhieran al vástago y eventualmente causen deterioro de las cámaras de dosificación y contaminación en el producto.

Se presenta en la figura 4-24 el diseño del conjunto émbolo-vástago dosificador:



**Figura 4-24:** Conjunto émbolo-vástago dosificador

Fuente: Propia

#### 4.6.1. DIÁMETRO DE VÁSTAGO

Para determinar el diámetro de cada vástago se toman las siguientes consideraciones/condiciones:

- Cilindro neumático a emplear: AND-32-100-ELH-A-P-A
- Superficie del pistón del cilindro (S): En función de su diámetro  $\varnothing = 40$  [mm]  $\approx 0.04$  [m]
- $F_t$ : Fuerza desarrollada por la presión de trabajo.
- Fuerza de rozamiento:  $F_R = 10\%$  de  $F_{teórica}$  (4.28)
- Fuerza Real ( $F_n$ ): Fuerza efectiva desarrollada por cada émbolo.
- Presión de trabajo nominal (P): 6 [bar]  $\approx 6(10)^5$  [Pa]
- Material: Acero inoxidable AISI 304
- $S_y = 220$  [MPa]  $\approx 2.2(10)^8$  [Pa]
- $S_{ut} = 520$  [MPa]  $\approx 5.2(10)^8$  [Pa]

$$F_n = F_t/3 \quad (4.29)$$

En donde:

$$F_t = S \cdot P \quad (4.30)$$

$$F_t = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot P = \frac{\pi \cdot (0.0392)^2 m^2}{4} \cdot 6(10)^5 [N/m^2]$$

$$F_t = 754 \text{ [N]}$$

$$F_n = F_t/3 = 754 \text{ [N]}/3$$

$$F_n = 251.33 \text{ [N]}$$

La  $F_n$  calculada de la ecuación (4.29) superará la fuerza de rozamiento que se origina por el movimiento alternativo de cada émbolo dosificador. Esta fuerza de rozamiento se estima mediante la ecuación (4.31).

$$F_R = 0.1 \times F_n \quad (4.31)$$

$$F_R = 0.1 \times 251.33 \text{ [N]} = 25.33 \text{ [N]}$$

La  $F_n$  previamente calculada da la pauta para determinar el diámetro admisible del vástago.

Para determinar el diámetro admisible del vástago se toma la ecuación (4.32):

$$\varnothing_{\text{vast}} = \sqrt{\frac{4 \times n \times F_n}{S_e \times \pi}} \quad (4.32)$$

En donde:

$\varnothing_{\text{vast}}$ : Diámetro del vástago

n: Factor de seguridad = 2

$S_e$ : Resistencia a fatiga del vástago

Los cálculos para determinar  $S_e$  se explican con detalle en la sección 4.3.2, mediante la ecuación (4.11):

$$S_e = K_a K_b K_c K_d K_e S'_e$$

De donde:

$$S'_e = 0.5 S_{ut} = 2.6(10)^8 \text{ [Pa]}$$

$K_a = 0.78$ ; según figura 4-18

$K_b = 0.97$ ; tomando como valor inicial un  $\varnothing$  de 10 [mm]

$K_c = 0.816$ ; según tabla 4-4

$K_d = 1$ ; según criterio de sección 4.3.2.5

$K_e = 1$ ; sin concentradores de esfuerzos

Por lo tanto;

$$S_e = 0.78 \times 0.97 \times 0.816 \times 1 \times 1 \times 2.6(10)^8 \text{ [Pa]}$$

$$S_e = 1.6(10)^8 \text{ [Pa]}$$

Reemplazando valores en la ecuación (4.32), se obtiene:

$$\phi_{\text{vast}} = 2 \text{ [mm]}$$

#### 4.6.2. CALCULO DE RESISTENCIA AL PANDEO

Para el cálculo de pandeo, se emplea el método de cálculo según la AISC, el mismo que en función del grado de esbeltez ( $\lambda$ ) y la razón real de delgadez ( $C_c$ ) se emplean las ecuaciones (4.33) y (4.34) para determinar el esfuerzo crítico de pandeo ( $\sigma_{cr}$ ).

- Si  $\lambda > C_c$ , se emplea Euler:

$$\sigma_{cr} = \pi^2 E / \lambda^2 \quad (4.33)$$

- Si  $\lambda < C_c$ , se emplea:

$$\sigma_{cr} = S_y [1 - (S_y \times \lambda^2) / 4\pi^2 E] \quad (4.34)$$

Además si  $\lambda < C_c$  se cumple con el criterio de esbeltez.

##### 4.6.2.1. GRADO DE ESBELTEZ ( $\lambda$ )

$$\lambda = L_e / r_{\min} \quad (4.35)$$

$$L_e = L \times (1/K)^{1/2} \quad (4.36)$$

$$r_{\min} = \frac{\phi_{\text{vast}}}{4} \quad (4.37)$$

Donde:

$L_e$ : Longitud equivalente del vástago

$L$ : Longitud del vástago sometido a pandeo = 117.6 [mm]

$K$ : Coeficiente de pandeo = 0.5 según figura 4-25.

$r_{\min}$ : Radio mínimo de giro

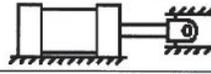
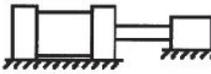
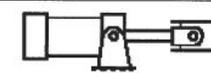
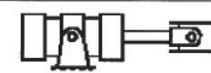
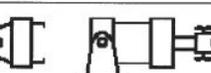
Tipos de montaje	Conexión del extremo del vástago	Tipo de conexión	Factor de pandeo
<b>Grupos 1 o 3</b> - Los cilindros de gran longitud de carrera deben montarse usando en un extremo una base rígida y alineada para soportar la fuerza principal y en el extremo opuesto un soporte parecido. Se aconseja un soporte intermedio para el caso de carreas muy largas	Fijo y guiado rígido	I 	0,5
	Pivote y guiado rígido	II 	0,7
	Soporte sin guiado rígido	III 	2
<b>Grupo 2</b>	Pivote y guiado rígido	IV 	1
	Pivote y guiado rígido	V 	1,5
	Pivote y guiado rígido	VI 	2

Figura 4-25: Coeficientes de pandeo

Fuente: <https://neumaticahidraulica.files.wordpress.com/2011/04/sesion-6.pdf>

Reemplazando valores en las ecuaciones (4.37), (4.36) y (4.35) se obtiene:

$$r_{\min} = 0.5 \text{ [mm]}$$

$$L_e = 166.31 \text{ [mm]}$$

$$\lambda = 332.62$$

#### 4.6.2.2. RAZON REAL DE DELGADEZ (Cc)

$$C_c = (2\pi^2 E / S_y)^{1/2} \quad (4.38)$$

$$C_c = (2\pi^2 200(10)^9 [\text{Pa}] / 2.2(10)^8 [\text{Pa}])^{1/2}$$

$$C_c = 134$$

Ya que  $\lambda > C_c$ , no cumple con el criterio de esbeltez, por lo tanto se debe incrementar el diámetro.

Tabla 4-7: Cumplimiento criterio esbeltez en función del diámetro del vástago

$\varnothing_{\text{vástago}}$ [mm]	$\lambda$	Cumple Criterio esbeltez
2	332.62	No
5	133.05	No
10	66.52	Sí

Fuente: Propia

Por lo tanto, como buena práctica de ingeniería, para asegurar la resistencia del mecanismo, se suele sobredimensionar el vástago incluso hasta 1/2 el diámetro del émbolo, por lo que la elección de un diámetro de 10 [mm], medida ideal debido a parámetros constructivos, es más que conservador cumpliendo con el criterio de esbeltez.

#### 4.6.2.3. ESFUERZO CRÍTICO DE PANDEO

Se determina empleando la fórmula (4.34):

$$\sigma_{cr} = S_y [1 - (S_y \times \lambda^2) / 4\pi^2 E]$$

$$\sigma_{cr} = 2.2(10)^8 [Pa] \left[ 1 - \frac{(2.2(10)^8 [Pa] \times 66.52^2)}{4\pi^2 200(10)^9 [Pa]} \right]$$

$$\sigma_{cr} = 1.93(10)^8 [Pa] \approx 193 [MPa]$$

### 4.7. SELECCIÓN DE CHUMACERAS

Para el cálculo de chumaceras (rodamientos y soportes) se emplea el método de cálculo usando la capacidad de carga estática, puesto que los rodamientos giran a una velocidad muy baja de 6 [rpm].

Según el catálogo SKF de soportes y rodamientos se selecciona rodamientos Y de bola con soporte de brida, el mismo que además de soportar la carga radial del eje, sirve como componente para la apropiada alineación del eje, aspecto fundamental para garantizar que los agujeros radiales del eje se alineen con los agujeros de succión y dosificación del bloque.

#### 4.7.1. CARGA ESTÁTICA EQUIVALENTE

Se determina mediante la ecuación (4.39):

$$P_o = 0.6F_r + 0.5F_a \quad (4.39)$$

Donde:

$P_o$ : Carga estática equivalente

$F_r$ : Carga radial del rodamiento

$F_a$ : Carga axial del rodamiento

Ya que el rodamiento soporta solo carga radial, la  $F_a = 0$

$$F_r = W_{eje} / 2 \quad (4.40)$$

$$Fr = \frac{38[N]}{2} = 19[N]$$

Reemplazando valores en la ecuación (4.39), se obtiene:

$$P_o = 11.4 [N]$$

Ya que  $P_o < Fr$ , entonces se usa como carga estática equivalente:

$$P_o = Fr = 19 [N]$$

#### 4.7.2. CAPACIDAD DE CARGA ESTÁTICA REQUERIDA $C_o$

Se determina mediante la ecuación (4.41):

$$C_o = S_o P_o \quad (4.41)$$

Donde:

$C_o$ : Carga estática equivalente

$S_o$ : Factor de seguridad estática = 1, según la figura 4-26, funcionamiento normal – rodamientos de bolas

tabla 1 - Valores orientativos para el factor de seguridad estática  $s_o$

Tipo de funcionamiento	Rodamientos giratorios						Rodamientos estacionarios	
	Requisitos de rendimiento (p. ej., funcionamiento silencioso o funcionamiento sin vibraciones)							
	sin importancia		normal		sup.		Rodamientos de bolas	Rodamientos de rodillos
Rodamientos de bolas	Rodamientos de rodillos	Rodamientos de bolas	Rodamientos de rodillos	Rodamientos de bolas	Rodamientos de rodillos			
Suave, sin vibración	0,5	1	1	1,5	2	3	0,4	0,8
Normal	0,5	1	1	1,5	2	3,5	0,5	1
Cargas de choque pronunciadas <sup>1)</sup>	$\geq 1,5$	$\geq 2,5$	$\geq 1,5$	$\geq 3$	$\geq 2$	$\geq 4$	$\geq 1$	$\geq 2$

Para los rodamientos axiales de rodillos a rótula se recomienda utilizar  $s_o \geq 4$ , para los rodamientos axiales de rodillos cónicos completamente llenos de rodillos (rodamientos de tornillo)  $s_o \geq 2,5$ , y para los rodamientos de rodillos cónicos y cilíndricos con jaulas de acero con pasadores  $s_o \geq 2$

1) Cuando no se conoce la magnitud de la carga de choque, deben utilizarse valores de  $s_o$  por lo menos iguales a los arriba mencionados. Si se conoce la magnitud de las cargas de choque, se pueden aplicar valores de  $s_o$  menores.

Figura 4-26: Factores de seguridad estática

Fuente: <http://www.skf.com/uy/products/bearings-units-housings/roller-bearings/principles/selecting-bearing-size/static-load-carrying-capacity/required-basic-static-load-rating/index.html>

Por lo tanto, reemplazando valores en la ecuación (4.41), se obtiene:

$$C_o = 1 \times 19[N] = 0.019 [kN]$$

Ya que la carga estática equivalente que soporta el rodamiento es muy pequeña, la selección del mismo se basa en el cumplimiento dimensional para el asiento del

eje de  $\varnothing = 20$  [mm] que se conjuga con la chumacera, además de que trabaje a menor número de revoluciones.

El código de la chumacera SKF elegida es: FY 20 TDW, cuyas características más detalladas se encuentran en el ANEXO A-7.

#### 4.8. SELECCIÓN DE GUÍA CON PATINES

La guía con patines se emplea para el asiento de la placa madre, la misma que sirve para evitar que se generen momentos tanto en los vástagos de dosificación como en el vástago del cilindro neumático, por lo tanto garantizando así su alineamiento.

La guía con patines que se usa pertenece a la marca SKF, cuyo catálogo orienta en su método de cálculo y selección.

##### 4.8.1. PRECARGA Y RIGIDEZ

Dependiendo del valor de la carga externa se determina el valor de precarga, según el criterio mostrado en la figura 4-27.

Cálculo de los valores de precarga de acuerdo con la clase de precarga	
Clase de precarga	Fuerza de precarga $F_{pr}$
T0	<b>Sin precarga/precarga ligera</b> Para sistemas de guías con patines de funcionamiento suave que requieren baja fricción. Esta clase de precarga solo está disponible en las clases de precisión P5 y P3.
T1	<b><math>F_{pr} = 2\%</math> de C</b> Para sistemas de guía con patines de precisión con una carga externa baja y media que requieren un alto grado de rigidez.
T2	<b><math>F_{pr} = 8\%</math> de C</b> Para sistemas de guía con patines de precisión con una carga externa elevada que requieren un alto grado de rigidez total. También se recomiendan para sistemas de un solo patín. Las frecuentes cargas puntuales se absorben sin que se produzcan deformaciones elásticas significativas.

**Figura 4-27:** Clases de precarga

**Fuente:** SKF. *Catálogo de guías y patines* (pp. 17)

El sistema al tener un funcionamiento suave ya que el patín debe recorrer una distancia máxima de 150 [mm] a una velocidad de 0.1 [m/s], por lo que se determina una clase de precarga T0.

Entonces,

$$F_{res} = F \quad (4.42)$$

Donde:

$F_{res}$ : Carga resultante

F: Carga externa

Para la carga externa se consideran los pesos de la placa madre, el alza placa madre, el acople vástago-placa madre y la mitad de peso del conjunto de 3 vástagos dosificadores.

$$F_{res} = (1.6 + 0.028 + 0.075 + 0.131)[\text{kg}] \times 9.8 \left[ \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \right]$$

$$F_{res} = 18[\text{N}]$$

#### 4.8.2. CAPACIDAD DE CARGA ESTÁTICA

Se determina mediante las ecuaciones (4.43) y (4.44)

$$C_o = S_o P_o \quad (4.43)$$

$$P_o = f_d F_{res} \quad (4.44)$$

Donde:

$C_o$ : Capacidad de carga estática

$S_o$ : Factor de seguridad estático = 3, según figura 4-28

$P_o$ : Carga estática máxima = 1, según figura 4-29

$f_d$ : Factor correspondiente a las condiciones de carga:

Factor de seguridad estático dependiendo de las condiciones de funcionamiento	
Condiciones de funcionamiento	$S_0$
Condiciones normales	mín. 2
Funcionamiento suave, sin vibraciones	>2-4
Nivel medio de vibraciones o cargas de impacto	3-5
Alto nivel de vibración y cargas de impacto	>5
Instalaciones elevadas	Se deberá tener en cuenta la normativa técnica general aplicable a cada sector industrial. Además, si hay riesgo de que la aplicación provoque una lesión seria, el usuario deberá adoptar medidas en materia de diseño y seguridad que impidan que el carro se desprenda del raíl (p.ej., por pérdida de elementos rodantes o uniones de tornillo fallidas).

**Figura 4-28:** Factores de seguridad estática

Fuente: SKF. *Catálogo de guías y patines* (pp. 16)

Factor $f_d$ para condiciones de carga		
Condiciones de carga	$f_d$ de	hasta
Funcionamiento suave, sin cargas de impacto o con cargas de impacto leves	1,0	1,5
Velocidad $\leq 2$ m/s Cargas de impacto elevadas Velocidad > 2 m/s	1,5	3,0

**Figura 4-29:** Factores de condiciones de carga

Fuente: SKF. *Catálogo de guías y patines* (pp. 21)

Reemplazando valores en las ecuaciones (4.44) y (4.43), se obtiene:

$$P_0 = 18 \text{ [N]}$$

$$C_0 = 54 \text{ [N]}$$

Con la carga obtenida ( $C_0$ ) se selecciona la guía patín, la cual nuevamente al ser una carga tan pequeña, se escoge la más básica que satisfaga requerimientos dimensionales, su código es: LLMHS12TA1T0-150P5W1, cuyas características más detalladas se encuentran en el ANEXO A-7.

#### 4.8.3. VIDA NOMINAL BÁSICA $L_{10h}$

Se determina mediante las ecuaciones (4.45) y (4.46).

$$P_d = \frac{f_d}{f_i} F_{res} \quad (4.45)$$

$$L_{10H} = \frac{5(10)^7}{l_s \times n_c \times 60} \left( \frac{C}{P} \right)^3 \quad (4.46)$$

Donde:

$P_d$ : Carga dinámica equivalente

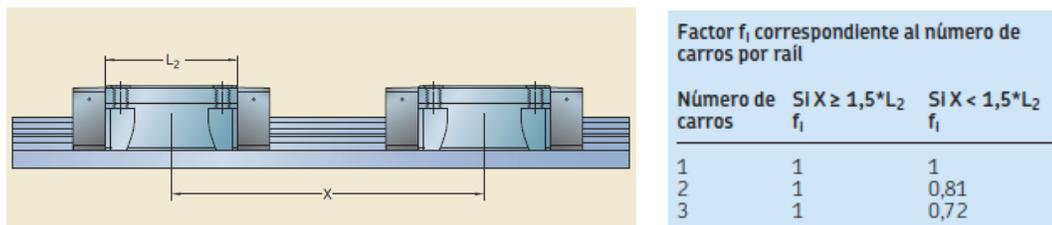
$f_i$ : Factor correspondiente al número de carros por riel = 1, según figura 4-30.

$L_{10h}$ : Vida nominal básica

$l_s$ : Longitud de carrera = 150 [mm]

$n_c$ : frecuencia de carrera = 12 [carreras dobles/min]

$C$ : Capacidad de carga dinámica = 2550 [N]



**Figura 4-30:** Factores correspondiente al número de cargas por riel

Fuente: SKF. *Catálogo de guías y patines* (pp. 21)

Reemplazando valores en las ecuaciones (4.45) y (4.46), se obtiene:

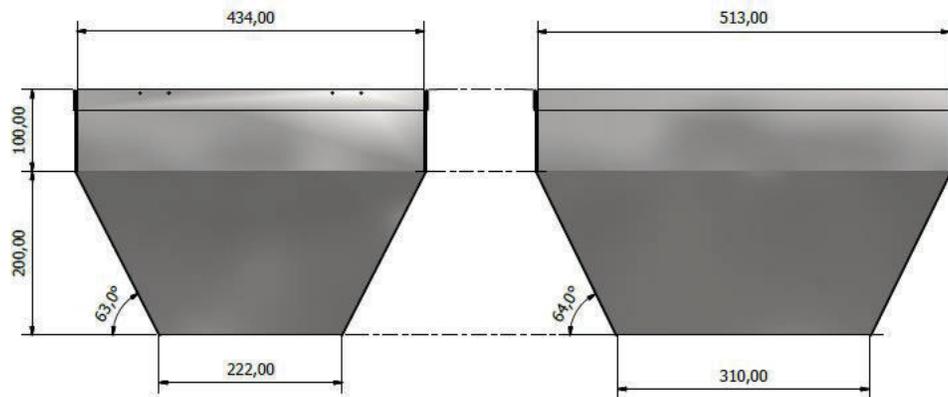
$$P_d = 18[\text{N}]$$

$$L_{10H} = 1.31(10)^9[\text{h}]$$

## 4.9.TOLVA

El diseño del cuerpo de la tolva como se muestra en la figura 4-31 se basa en una parte de pared vertical con sección rectangular que inmediatamente se soleva a una de menor sección igualmente rectangular, formando así un ángulo de inclinación que facilite la fluidez de la solución base de glicerina contra la pared

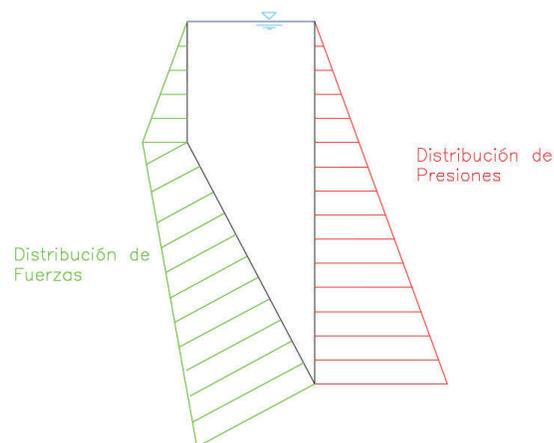
inclinada, así como también direcciona el flujo hacia el depósito del bloque dosificador.



**Figura 4-31:** Cuerpo de tolva

Fuente: Propia

Los esfuerzos a los que está sometida la tolva se dan debido a la presión hidrostática que ejerce el líquido sobre la altura incremental de la pared, es así que se tiene la distribución de fuerzas (reacciones) y de presiones que se muestra en la figura 4-32.

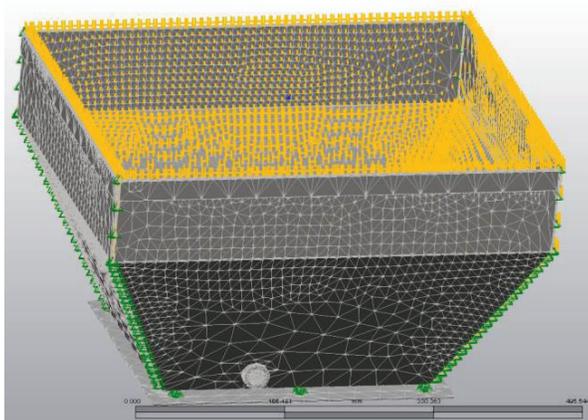


**Figura 4-32:** Distribución de presiones y fuerzas sobre la pared de la tolva

Fuente: Propia

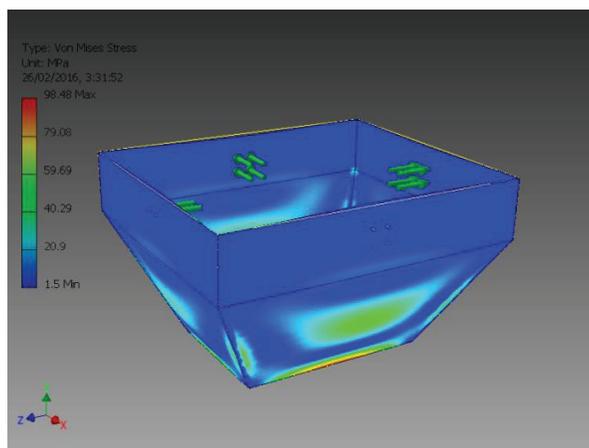
Por lo tanto para el cálculo de esfuerzos se emplea el software FEM de “Autocad Mechanical Simulation,” cuyos valores se evalúan con un espesor comercial de plancha de 1.5 [mm].

Se presentan las simulaciones mencionadas en las figuras 4-33, 4-34 y 4-35.



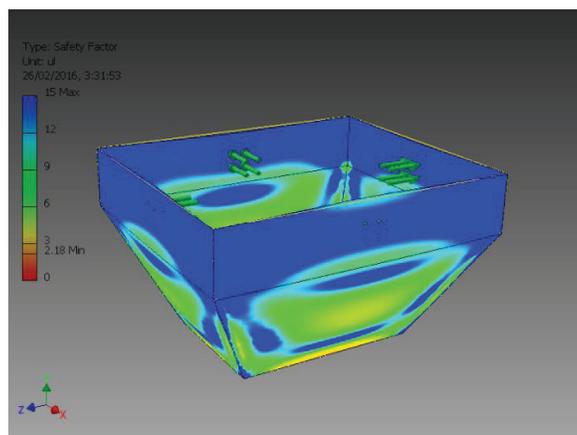
**Figura 4-33:** Mallado de la tolva

Fuente: Propia



**Figura 4-34:** Esfuerzo de Von Mises en tolva

Fuente: Propia



**Figura 4-35:** Factor de seguridad de tolva

Fuente: Propia

Se resumen los resultados de la simulación en la tabla 4-8; el detalle más ampliado de la misma se encuentra en el ANEXO A-3.

Tabla 4-8: Resultados de simulación de esfuerzos en tolva

Nombre	Mínimo	Máximo
Volumen [mm <sup>3</sup> ]	782604	
Masa [kg]	6.26083	
Desplazamiento [mm]	0	1.46721
Esfuerzo Von Mises [MPa]	1.50005	98.4771
Rotación [°]	0	1.10062
1 Esfuerzo principal [Mpa]	-28.8936	110.264
3 Esfuerzo principal [Mpa]	-106.005	14.753
Factor de seguridad	2.18325	15

Fuente: Propia

Una vez detallados los distintos componentes de la máquina dosificadora, se expone una representación de la misma en la figura 4-36.

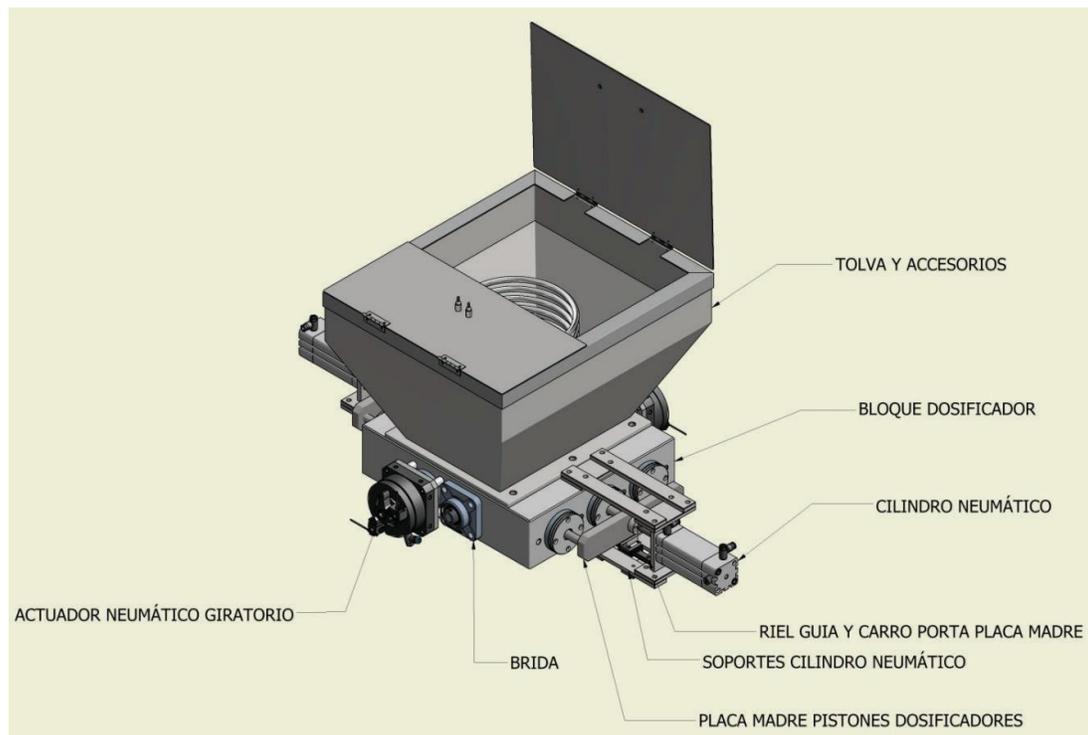


Figura 4-36: Máquina dosificadora

Fuente: Propia

#### 4.10. ESTRUCTURA SOPORTE

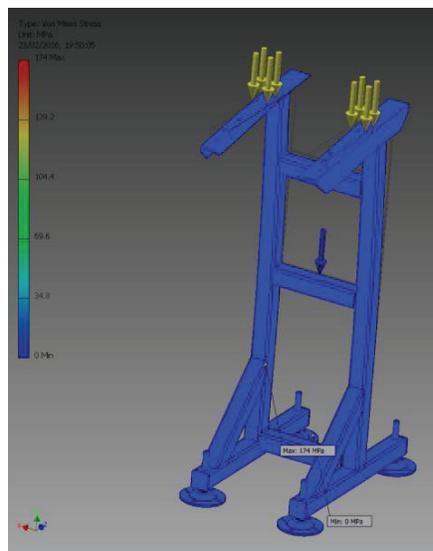
La estructura soporte soporta el peso de la máquina dosificadora, sus accesorios y producto.

Su análisis igualmente se hace mediante la simulación usando el software de “AutoDesk Inventor” en su sección de “Stress Analysis” cuyos resultados se muestran en las figuras 4-37, 4-38 y 4-39.



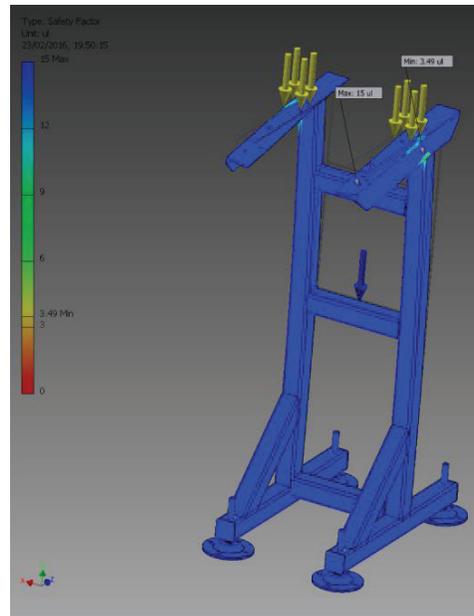
**Figura 4-37:** Fuerzas aplicadas en la estructura soporte

**Fuente:** Propia



**Figura 4-38:** Esfuerzos de Von Mises en estructura soporte

**Fuente:** Propia



**Figura 4-39:** Factor de seguridad de estructura soporte

Fuente: Propia

Se resumen los resultados de la simulación en la tabla 4-9; el detalle más ampliado de la misma se encuentra en el ANEXO A-4.

Tabla 4-9: Resumen de simulación en estructura soporte

Nombre	Mínimo	Máximo
Volumen [mm <sup>3</sup> ]	782604	
Masa [kg]	6.26083	
Desplazamiento [mm]	0	1.46721
Esfuerzo Von Mises [MPa]	1.50005	98.4771
Rotación [°]	0	1.10062
1 Esfuerzo principal [MPa]	-28.8936	110.264
3 Esfuerzo principal [Mpa]	-106.005	14.753
Factor de seguridad	2.18325	15

Fuente: Propia

#### 4.11. CONSUMO Y FLUJO DE AIRE

El consumo de aire requerido por el sistema de dosificación se calcula en base a los requerimientos de los actuadores neumáticos que forman la máquina, lo cual se detalla a continuación.

En el caso de los cilindros neumáticos, los cuales consumen el mayor volumen de aire del sistema, el mismo que se calcula en la carrera de avance mediante la ecuación (4.47), y para la carrera de retroceso se calcula mediante la ecuación (4.48).

$$Q_{\text{avance}} = \frac{\pi}{4} \cdot (\phi_1^2) \cdot h_c \cdot (P + 1) \cdot 10^{-6} \quad (4.47)$$

$$Q_{\text{retroceso}} = \frac{\pi}{4} \cdot (\phi_1^2 - \phi_2^2) \cdot h \cdot (P + 1) \cdot 10^{-6} \quad (4.48)$$

Donde:

Q: Consumo de aire, [L]

$\phi_1$ : Diámetro del émbolo [mm]

$\phi_2$ : Diámetro del vástago [mm]

$h_c$ : Carrera [mm]

P: Presión de funcionamiento [bar]

Es así que se genera la tabla 4-10 donde se resumen dichos valores para cada cilindro:

Tabla 4-10: Consumo de aire

Cilindro/Actuador	$\phi_1$ [mm]	$\phi_2$ [mm]	h [mm]	P [bar]
ADN-32-100	32	12	100	6
ADN-32-240	32	12	240	6
ADN-32-370	32	12	370	6

Fuente: Propia

Se reemplazan valores en las ecuaciones (4.47) y (4.48) y se determina el consumo de aire y el flujo del mismo en función del número de ciclos por minuto, cuyos valores se calculan mediante las ecuaciones (4.49) y (4.50).

$$Q_T = Q_{\text{avance}} + Q_{\text{retroceso}} \quad (4.49)$$

$$\dot{Q} = Q_T \cdot X_C \quad (4.50)$$

Donde:

$Q_T$ : Consumo de aire [L]

$\dot{Q}$ : Flujo de aire [L/min]

c: Número de ciclos por minuto [1/min]

En la tabla 4-11 se resumen dichos resultados.

Tabla 4-11: Consumo y flujo de aire total

Cilindro/Actuador	Número	$Q_{avance}$ [L]	$Q_{retroceso}$ [L]	$Q_T$ [L]	c	$\dot{Q}$ [L/min]
ADN-32-100	2	0.563	0.484	1.047	12	25.128
ADN-32-240	2	1.351	1.161	2.512	12	60.288
ADN-32-370	2	2.083	1.790	3.873	12	92.952
DSM-32 @ 90°	2	0.033	0.033	0.066	12	1.584
					$\dot{Q}_T$	179.95

Tomando en consideración las mangueras flexibles y demás accesorios del sistema neumático se tiene:

$$\dot{Q}_{sistema} = Q_T \times 1.20 \quad (4.51)$$

$$Q_{sistema} = 216 \text{ [L/min]} \cong 7.7 \text{ [cfm]} \cong 3600 \text{ [cm}^3\text{/s]}$$

## **CAPÍTULO 5.**

### **CONSTRUCCIÓN, MONTAJE Y PRUEBAS DE CAMPO**

#### **5.1.INTRODUCCIÓN**

Este capítulo trata sobre los recursos empleados en la construcción y montaje de los distintos elementos que constituyen la máquina dosificadora y sus sistemas, por lo mismo, también abarca las hojas de proceso de manufactura de los mismos, y por último las pruebas de campo.

#### **5.2.RECURSOS HUMANOS**

Para la construcción del sistema de dosificación objeto del presente proyecto de titulación se requiere de:

- Un ingeniero mecánico.- Quien diseña, calcula y selecciona los distintos elementos mecánicos y neumáticos que conforman el sistema de dosificación.
- Un ingeniero electrónico.- Quien diseña, calcula y selecciona los circuitos eléctricos del equipo y desarrolla el programa de control del sistema de dosificación.
- Un técnico mecánico.- Quien es el encargado de construir y ensamblar los elementos constitutivos de la máquina bajo supervisión del ingeniero mecánico.
- Un técnico electricista.- Quien es el encargado de ensamblar y conectar los circuitos eléctricos y elementos de control de la máquina bajo supervisión del ingeniero electrónico.

#### **5.3. MÁQUINAS - HERRAMIENTAS**

En la construcción del presente prototipo intervienen:

- Torno,
- Fresadora,

- Taladro de pedestal,
- Taladro manual,
- Amoladora,
- Dobladora,
- Cizalla,
- Esmeril.
- Sueda Eléctrica.

#### **5.4. MATERIALES**

Los materiales que se emplean para la construcción del presente prototipo son:

- Bloque de duraluminio,
- Planchas de acero inoxidable AISI 304,
- Tubería redonda de acero inoxidable AISI 304,
- Ejes en acero inoxidable AISI 304,
- Bloques de duralon,
- Perfiles de acero estructural ASTM A-36,
- Tuercas, pernos, tornillos y arandelas,
- Insumos eléctricos (cables, relés, etc.),
- Insumos neumáticos (manguera, racores, etc.).

#### **5.5. INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN Y CONTROL**

Los instrumentos que se emplean son los siguientes:

- Flexómetro,
- Calibrador pie de rey,
- Micrómetro,
- Multímetro.

#### **5.6. CONSTRUCCIÓN**

La construcción de la máquina consiste en las siguientes fases:

- Mecánica,
- Neumática,
- Instrumentación y Control.

### **5.6.1. MECÁNICA**

Corresponde a la primera fase de construcción, abarcando los siguientes elementos:

- Tolva,
- Bloque de dosificación,
- Ejes de dosificación,
- Émbolos – vástagos de dosificación,
- Soportes de elementos constitutivos de la máquina dosificadora,
- Estructura soporte para la máquina dosificadora,
- Estructura soporte del sistema de avance de moldes.

Los mismos que se construyen y ensamblan según los planos detallados en el ANEXO A-9, siguiendo los lineamientos e indicaciones de las hojas de proceso como se indican en el ANEXO A-8.

### **5.6.2. NEUMÁTICA**

Corresponde a la segunda fase, cuando ya están listos los elementos construidos e inicia el montaje de los siguientes elementos:

- Cilindros neumáticos,
- Actuadores neumáticos giratorios,
- Válvulas, electro-válvulas,
- Bloque distribuidor de electro-válvulas,
- Unidad de mantenimiento.

Todo según el diagrama unifilar neumático según el ANEXO A-6.

### **5.6.3. INSTRUMENTACIÓN Y CONTROL**

Es la fase en donde se sincronizan todos los elementos para una operación correcta, tales como los siguientes elementos eléctricos y de control:

- Sensores de posición magnéticos,
- RTDs,
- Resistencias de calentamiento,
- Bobinas,

- Montaje del tablero de control.

### **5.7. PRUEBAS DE CAMPO**

Una vez terminada la construcción del prototipo se somete a las respectivas pruebas de campo. Para ello se aplica el formato del protocolo de pruebas del ANEXO A-5.

## **CAPÍTULO 6.**

### **ANÁLISIS DE COSTOS DEL PROYECTO**

#### **6.1. INTRODUCCIÓN**

El presente capítulo abarca el estudio de los costos de construcción del sistema de dosificación de la máquina, en el que se consideran los costos de adquisición de elementos normalizados, materiales, fabricación, diseño y montaje de los distintos elementos constitutivos del prototipo.

Por tal motivo, se analizan los costos directos e indirectos que incurren en la fabricación del sistema de dosificación, tomando en consideración la situación económica actual del país y del mundo, lo cual influye en los costos totales con respecto a la fecha actual.

#### **6.2. COSTOS DIRECTOS**

Son aquellos costos que abarcan los rubros destinados a las acciones de fabricación de la máquina y que se pueden cuantificar y rastrear directamente por medio de cotizaciones, o asignar un costo estimado.

Se realiza el análisis por cada sistema, resultando:

- Sistema de alimentación de moldes,
- Estructura para bloque dosificador,
- Sistema de dosificación – bloque,
- Tolva de alimentación,
- Conexiones eléctricas y neumáticas.

En cada uno, se detallan la materia prima y mano de obra incidente. La metodología de análisis no sigue el orden secuencial a los planos, sino que sigue desde un punto de vista de consumo de materiales.

### 6.2.1. SISTEMA DE ALIMENTACIÓN DE MOLDES

Este rubro corresponde a los planos 1.3275.004 y sus dependientes. Sus materiales se resumen en la tabla 6-1:

Tabla 6-1: Tabla de materiales del sistema de alimentación de moldes

<b>SISTEMA DE ALIMENTACIÓN DE MOLDES</b>		<b>1.3275.004</b>		
<b>ITEM</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>CANT.</b>	<b>MATERIAL</b>	<b>OBSERVACIÓN</b>
1	Estructura de sistema de alimentación	1	ASTM A36	
2	Pata estructura A	2	ASTM A36	
3	Pata estructura B	2	ASTM A36	
4	Soporte pie de amigo A	2	ASTM A36	
5	Soporte pie de amigo B	2	ASTM A36	
6	Placa soporte cilindro	4	ASTM A36	
7	Placa empuje cilindro	4	ASTM A36	
8	Placa de contacto	8	ASTM A36	
9	Cilindro doble efecto B	2		FESTO DNC-32-240
10	Cilindro doble efecto A	2		FESTO DNC-32-370
11	Bandeja transversal	2	AISI 430	
12	Bandeja longitudinal	2	AISI 430	
13	Perno hexagonal M10-1.5x30	8	ASTM A36	
14	Arandela presión M10	8	ASTM A36	
15	Tuerca M10-1.5	8	ASTM A36	
16	Perno hexagonal M8-1.25x30	16	ASTM A36	
17	Arandela presión M8	16	ASTM A36	
18	Tuerca M8-1.25	16	ASTM A36	
19	Perno hexagonal M6-1x20	16	ASTM A36	
20	Arandela presión M6	16	ASTM A36	
21	Tuerca M6-1	16	ASTM A36	
22	Perno allen M4x16	16	ASTM A36	
23	Tuerca M10x1.25	4	ASTM A36	

Fuente: Propia

La materia prima consumida se resume en la tabla 6-2:

Tabla 6-2: Materia prima del sistema de alimentación de moldes

<b>ESTRUCTURA BANDEJA BASE</b>	<b>CANT. UNIT.</b>	<b>CANT. TOTAL</b>	<b>LONG. UNIT.</b>	<b>LONG. TOTAL</b>	<b>COSTO UNIT.</b>	<b>SUBTOTAL</b>
Ángulo (30x30x3) [mm]	2	1	966	1932	\$ 1.64	\$ 3.17
Ángulo (30x30x3) [mm]	2	1	1856	3712	\$ 1.64	\$ 6.09
Ángulo (30x30x3) [mm]	2	1	1160	2320	\$ 1.64	\$ 3.80
Ángulo (30x30x3) [mm]	2	1	530	1060	\$ 1.64	\$ 1.74
Platina (25x3) [mm]	2	1	372	744	\$ 0.73	\$ 0.54
Platina (25x3) [mm]	6	1	242	1452	\$ 0.73	\$ 1.06
Ángulo (30x30x3) [mm]	2	1	242	484	\$ 1.64	\$ 0.79
Ángulo (30x30x3) [mm]	2	1	372	744	\$ 1.64	\$ 1.22
Platina (25x3) [mm]	4	1	215	860	\$ 0.73	\$ 0.63
Platina (25x3) [mm]	4	1	345	1380	\$ 0.73	\$ 1.01
<b>PATAS</b>						
Tubo (50x50x3) [mm]	1	4	775	3100	\$ 4.19	\$ 12.99
Tubo (50x50x3) [mm]	2	4	183	1464	\$ 4.19	\$ 6.13
Tubo (50x50x3) [mm]	1	4	350	1400	\$ 4.19	\$ 5.87
Platina (50x3) [mm]	2	4	50	400	\$ 1.45	\$ 0.58
Patas	2	4	1	8	\$ 14.00	\$ 0.11
<b>PIE DE AMIGO LARGA</b>						
Tubo (50x50x3) [mm]	1	2	758	1516	\$ 4.19	\$ 6.35
Platina (50x8) [mm]	2	2	100	400	\$ 4.93	\$ 1.97
<b>PIE DE AMIGO LARGA</b>						
Tubo (50x50x3) [mm]	1	2	483	966	\$ 4.19	\$ 4.05
Platina (50x8) [mm]	2	2	100	400	\$ 4.93	\$ 1.97
<b>PLACA DE EMPUJE Y TOPE</b>						
Platina (30x8) [mm]	1	4	130	520	\$ 2.86	\$ 1.49
Platina (30x10) [mm]	2	4	30	240	\$ 3.01	\$ 0.72
<b>PLACA DE SOPORTE CILINDRO</b>						
Platina (50x8) [mm]	3	4	100	1200	\$ 4.93	\$ 5.92
Platina (50x8) [mm]	1	4	722	2888	\$ 4.93	\$ 14.24
					<b>SUBTOTAL</b>	<b>\$ 62.39</b>

Fuente: Propia

Otros componentes se resumen en la tabla 6-3:

Tabla 6-3: Otros componentes del sistema de alimentación de moldes

<b>OTROS SIST. ALIMENTACIÓN</b>	<b>CANT. UNIT.</b>	<b>COSTO UNIT.</b>	<b>SUBTOTAL</b>
Perno hexagonal M10-1.5x30	8		\$ 20.00
Arandela presión M10	8		
Tuerca M10-1.5	8		
Perno hexagonal M8-1.25x30	16		
Arandela presión M8	16		
Tuerca M8-1.25	16		
Perno hexagonal M6-1x20	16		
Arandela presión M6	16		
Tuerca M6-1	16		
Perno allen M4x16	16		
Tuerca M10x1.25	4		
Plancha acero inox. (430 - 1.5) [mm]	1	\$ 80.00	\$ 80.00
Consumibles	1	\$ 60.00	\$ 60.00
Pintura electrostática	1	\$ 60.00	\$ 60.00
Patas	8	\$ 15.00	\$ 120.00
Moldes flexibles	12	\$ 1.50	\$ 18.00
Bandeja base	12	\$ 15.00	\$ 180.00
		<b>SUBTOTAL</b>	<b>\$ 538.00</b>

Fuente: Propia

Los rubros de los elementos neumáticos se resumen en la tabla 6-4:

Tabla 6-4: Elementos neumáticos del sistema de alimentación de moldes

<b>ELEM. NEUMÁTICOS SIST. ALIMENTACIÓN</b>	<b>CANT. UNIT.</b>	<b>COSTO UNIT.</b>	<b>SUBTOTAL</b>
Cilindro doble efecto 32-240	2	\$ 84.15	\$ 168.30
Cilindro doble efecto 32-370	2	\$ 109.65	\$ 219.30
Racores rápidos M6	8	\$ 1.45	\$ 11.60
Válvulas de estrangulación y anti-retorno G 1/8	8	\$ 9.80	\$ 78.40
		<b>SUBTOTAL</b>	<b>\$ 477.60</b>

Fuente: Propia

### 6.2.1. ESTRUCTURA PARA BLOQUE DOSIFICADOR

Este rubro corresponde a los planos 1.3275.102 y sus dependientes. El consumo de materias primas se resume en la tabla 6-5:

Tabla 6-5: Tabla de materiales de la estructura para bloque dosificador

<b>ESTRUCTURA BLOQUE</b>	<b>CANT. UNIT.</b>	<b>CANT. TOTAL</b>	<b>LONG. UNIT.</b>	<b>LONG. TOTAL</b>	<b>COSTO UNIT.</b>	<b>SUBTOTAL</b>
Tubo (50x50x3) [mm]	2	1	550	1100	\$ 4.19	\$ 4.61
Tubo (50x50x3) [mm]	2	1	333	666	\$ 4.19	\$ 2.79
Tubo (50x50x3) [mm]	3	1	250	750	\$ 4.19	\$ 3.14
Tubo (50x50x3) [mm]	2	1	1015	2030	\$ 4.19	\$ 8.51
Ángulo (60x60x8) [mm]	2	1	490	980	\$ 9.17	\$ 8.99
Platina (50x3) [mm]	4	1	50	200	\$ 1.45	\$ 0.29
					<b>SUBTOTAL</b>	<b>\$ 28.32</b>

Fuente: Propia

El consumo de otros costos para la estructura del bloque dosificador se resume en la tabla 6-6:

Tabla 6-6: Otros costos para estructura para bloque dosificador

<b>OTROS ESTRUCTURA BLOQ.</b>	<b>CANT. UNIT.</b>	<b>COSTO UNIT.</b>	<b>SUBTOTAL</b>
Consumibles	1	\$ 20.00	\$ 20.00
Pintura electrostática	1	\$ 20.00	\$ 20.00
Patás	8	\$ 15.00	\$ 120.00
		<b>SUBTOTAL</b>	<b>\$ 160.00</b>

Fuente: Propia

## 6.2.2. SISTEMA DE DOSIFICACIÓN

Este rubro corresponde a los planos 1.3275.002 y sus dependientes. Sus materiales se resumen en la tabla 6-7:

Tabla 6-7: Tabla de materiales del sistema de dosificación

<b>SISTEMA DE DOSIFICACIÓN</b>		<b>1.3275.002</b>		
<b>ITEM</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>CANT.</b>	<b>MATERIAL</b>	<b>OBSERVACIÓN</b>
1	Bloque Dosificador	1	Duraluminio	
2	Eje Dosificador	2	Acero inox.	
3	Buje dosificación	2	Bronce SAE 40	
4	Buje de cámara de dosificación	6	Bronce SAE 40	
5	Émbolo	6	Acero inox.	
6	Placa madre	2	Acero inox.	
7	Acople vástago-placa madre	2	Acero inox.	
8	Tapa émbolo interna	6	Plástico ABS	
9	Tapa émbolo externa	6	Plástico ABS	
10	Rascador	6	Elastómero	

.../

(Continuación)

11	Resistencia eléctrica 100W	8	Incoloy	
12	Placa soporte axial cilindro inferior	4	Acero inox.	
13	Placa soporte cilindro axial superior	4	Acero inox.	
14	Placa soporte cilindro base	4	Acero inox.	
15	Soporte perfil corredera	4	Acero inox.	
16	Soporte cilindro	2	Aluminio	
17	Guía	2	Aluminum 6061	150P5W1
18	Patín	2	Aluminum 6061	LLMHS12TA1T0
19	Placa acople actuador	2	Acero inox.	
20	Soporte guía de placa madre	2	Acero inox.	
21	Alzas actuador neumático	8	Plástico ABS	
22	Actuador neumático	2		
23	Boquilla dosificación	6	Acero inox.	
24	Chumacera Ø20 [mm]	2		FY 20 TDW
25	Sello o'ring	4	Teflón FEP	
26	Perno hexagonal M8-1.25x30	16	Acero inox.	
27	Arandela presión M8	40	Acero inox.	
28	Tuerca ciega M8-1.25	16	Acero inox.	
29	Perno hexagonal M8-1.25x25	16	Acero inox.	
30	Perno hexagonal M5x20	8	Acero inox.	
31	Arandela presión M5	8	Acero inox.	
32	Tuerca ciega M5	8	Acero inox.	
33	Perno allen M5x40	8	Acero inox.	
34	Perno allen M4x8	4	Acero inox.	
36	Perno allen M5x16	8	Acero inox.	
37	Perno allen avellanado inox M5x30	24	Acero inox.	
38	Perno hexagonal M12-1.25x25	8	Acero inox.	
39	Arandela presión M12	8	Acero inox.	
40	Perno hexagonal M8-1.25x30	8	Acero inox.	
41	Perno allen M3x10	8	Acero inox.	
42	Perno allen M5x12	4	Acero inox.	
43	Pistón neumático L100	2		Festo ADN-32-100
44	Sensor RTD 1/4-100	2		

Los costos relacionados a perfiles metálicos inoxidables se resumen en la tabla 6-8:

Tabla 6-8: Costos relacionados a perfiles metálicos inoxidables del sistema de bloque dosificador

BLOQUE	CANT. UNIT.	CANT. TOTAL	LONG. UNIT.	LONG. TOTAL	COSTO UNIT.	SUBTOTAL
Platina inox. (30x8) [mm]	2	2	231	924	\$ 20.00	\$ 18.48
Platina inox. (30x8) [mm]	2	2	231	924	\$ 20.00	\$ 18.48
Platina inox. (50x8) [mm]	2	2	100	400	\$ 25.00	\$ 10.00
Platina inox. (30x5) [mm]	2	2	100	400	\$ 16.00	\$ 6.40
Placa inox. (105x105x10) [mm]	1	2	1	2	\$ 35.00	\$ 70.00
Platina inox. (50x20) [mm]	1	2	240	480	\$ 85.00	\$ 40.80
Eje (Ø16 x 27) [mm]	4	2	27	216	\$ 9.00	\$ 1.94
Eje (Ø38 x 15) [mm]	1	2	15	30	\$ 34.00	\$ 1.02
Eje (Ø10 x 145) [mm]	1	6	145	870	\$ 7.50	\$ 6.53
Eje (Ø45 x 25) [mm]	1	6	30	180	\$ 45.00	\$ 8.10
					<b>SUBTOTAL</b>	<b>\$ 181.75</b>

Fuente: Propia

Otros componentes del bloque se resumen en la tabla 6-9:

Tabla 6-9: Costos de otros componentes para el bloque dosificador

OTROS	CANT. UNIT.	COSTO UNIT.	SUBTOTAL
Perno hexagonal M8-1.25x30	16		\$ 35.00
Arandela presión M8	40		
Tuerca ciega M8-1.25	16		
Perno hexagonal M8-1.25x25	16		
Perno hexagonal M5x20	8		
Arandela presión M5	8		
Tuerca ciega M5	8		
Perno allen M5x40	8		
Perno allen M4x8	4		
Perno allen M5x16	8		
Perno allen avellanado inox M5x30	24		
Perno hexagonal M12-1.25x25	8		
Arandela presión M12	8		
Perno hexagonal M8-1.25x30	8		
Perno allen M3x10	8		
Perno allen M5x12	4		
Boquillas	6	\$ 20.00	\$ 120.00

.../

(Continuación)

Sensor RTD NPT1/4-D6x100	2	\$ 75.00	\$ 150.00
Resistencia eléctrica 100 W	8	\$ 20.00	\$ 160.00
Chumacera Ø20 [mm]	2	\$ 40.00	\$ 80.00
Placa nylon (Ø76 x 5) [mm]	12	\$ 3.00	\$ 36.00
Sello o'ring	4	\$ 3.50	\$ 14.00
Bloque duraluminio	1	\$ 1400.00	\$ 1400.00
Bujes cámara dosificadora	6	\$ 60.00	\$ 360.00
Bujes eje dosificador	2	\$ 80.00	\$ 160.00
Rascador	6	\$ 20.00	\$ 120.00
		<b>SUBTOTAL</b>	<b>\$ 2635.00</b>

Fuente: Propia

Los elementos neumáticos se resumen en la tabla 6-10:

Tabla 6-10: Costos de elementos neumáticos para el bloque dosificador

ELEMENTOS NEUMÁTICOS	CANT. UNIT.	COSTO UNIT.	SUBTOTAL
Cilindro doble efecto 32-100	2	\$ 84.15	\$ 168.30
Actuador giratorio 32-270°	2	\$ 95.00	\$ 190.00
Racores rápidos M6	8	\$ 1.45	\$ 11.60
Válvulas de estrangulación y anti-retorno G 1/8	8	\$ 9.80	\$ 78.40
Guía patín LLMHS12TA1T0-150P5w1	2	\$ 85.00	\$ 170.00
		<b>SUBTOTAL</b>	<b>\$ 448.30</b>

Fuente: Propia

### 6.2.3. TOLVA DE ALIMENTACIÓN

Este rubro corresponde a los planos 1.3275.003 y sus dependientes. Sus materiales se resumen en la tabla 6-11:

Tabla 6-11: Tabla de materiales para la tolva de alimentación

TOLVA DE ALIMENTACIÓN		1.3275.003		
ITEM	DESCRIPCIÓN	CANT.	MATERIAL	OBSERVACIÓN
1	Tolva	1	AISI 304	
2	Tapa tolva serpentín	1		
3	Tapa tolva	1	AISI 304	
4	Niquelina serpentín	1	Incoloy	
5	Bisagra 2 [in]	4	AISI 304	
7	Sensor RC	1		
8	Sensor RTD 1/2 - 100	1		

Fuente: Propia

Los costos de los materiales se resumen en la tabla 6-12:

Tabla 6-12: Costos de materiales para la tolva de alimentación

<b>TOLVA DE ALIMENTACIÓN</b>	<b>CANT. UNIT.</b>	<b>COSTO UNIT.</b>	<b>SUBTOTAL</b>
Plancha inox. A304 - 1.5 [mm]	1	\$ 130.00	\$ 130.00
Sensor RC	1	\$ 47.60	\$ 47.60
Sensor RTD D1/2-D8x100	1	\$ 80.00	\$ 80.00
Bisagras 2 [in]	4	\$ 3.00	\$ 12.00
Niquelina 5 espiras x 40 [mm] Ø10x100W	1	\$ 65.00	\$ 65.00
		<b>SUBTOTAL</b>	<b>\$ 334.60</b>

Fuente: Propia

#### 6.2.4. CONEXIONES NEUMÁTICAS Y ELÉCTRICAS

Estos elementos van dentro del tablero de conexiones eléctricas, y los elementos neumáticos se ensamblan sobre la estructura para el bloque dosificador. Los elementos involucrados y sus costos se resumen en la tabla 6-13:

Tabla 6-13: Elementos para el tablero eléctrico

<b>GABINETE ELÉCTRICO</b>	<b>CANT. UNIT.</b>	<b>COSTO UNIT.</b>	<b>SUBTOTAL</b>
PLC Siemens LOGO 12/24 RC	1	\$ 185.00	\$ 185.00
Módulo de 8 entradas digitales y 4 salidas para relay	2	\$ 160.00	\$ 320.00
Controlador BTC-9100	1	\$ 164.00	\$ 164.00
Breaker de 20 A bifásico	1	\$ 17.00	\$ 17.00
Fuente de 24 [VDC] @ 2,5 [A]	1	\$ 112.00	\$ 112.00
Porta fusible 10x38	1	\$ 2.50	\$ 2.50
Fusible de 3 [A]	1	\$ 0.50	\$ 0.50
Relés estado sólido 24 [VDC] de 10[A]	5	\$ 26.00	\$ 130.00
Canaleta ranurada 12x20 [cm ]*2MT	2	\$ 5.20	\$ 10.40
Borneras para cable 16	20	\$ 1.51	\$ 30.20
Borneras para cable 12	6	\$ 1.71	\$ 10.26
Rollo de cable 16 azul	1	\$ 27.00	\$ 27.00
Cable 2x12 AWG [m]	6	\$ 1.50	\$ 9.00
Luz piloto de 24 VDC verde	1	\$ 20.30	\$ 20.30
Pantalla KP300 Siemens	1	\$ 430.00	\$ 430.00
Funda para terminales tipo puntera para cable 16	1	\$ 2.10	\$ 2.10
Funda para terminales tipo puntera para cable 12	1	\$ 5.60	\$ 5.60
Tablero plástico de (80x60x25) [cm]	1	\$ 143.80	\$ 143.80
Ventilador 110 VAC de 4 [in]	1	\$ 29.79	\$ 29.79
Imprevistos	1	\$ 100.00	\$ 100.00
		<b>SUBTOTAL</b>	<b>\$ 1749.45</b>

Fuente: Propia

Los elementos neumáticos para el control de la máquina dosificadora y sus costos se resumen en la tabla 6-14:

Tabla 6-14: Elementos neumáticos para el control de la máquina dosificadora

<b>ELEMENTOS NEUMÁTICOS</b>	<b>CANT. UNIT.</b>	<b>COSTO UNIT.</b>	<b>SUBTOTAL</b>
Unidad de mantenimiento FRC de 10 [bar]	1	\$ 76.50	\$ 76.50
Manguera pun 8 [m]	5	\$ 1.66	\$ 8.30
Bloque distribuidor de electroválvulas 5/2	3	\$ 38.25	\$ 114.75
Electro-válvulas 5/2	15	\$ 76.50	\$ 1147.50
Manguera Pun 6 [m]	5	\$ 1.22	\$ 6.10
Racores rápidos M8	2	\$ 4.00	\$ 8.00
Bobinas 24 VDC 10 [W]	8	\$ 30.59	\$ 244.72
		<b>SUBTOTAL</b>	<b>\$ 1605.87</b>

Fuente: Propia

### 6.2.5. RESUMEN DE CUADRO DE COSTOS

Se presenta tabla 6-15 de resumen de valores y se incluye la mano de obra

Tabla 6-15: Costos de materia prima

<b>SISTEMA DE ALIMENTACIÓN</b>	<b>COSTO UNIT.</b>	<b>SUBTOTAL</b>
Materiales estructurales	\$ 620.44	\$ 1422.04
Elementos neumáticos	\$ 477.60	
Mano de obra	\$ 324.00	
<b>ESTRUCTURA BLOQUE</b>	<b>COSTO UNIT.</b>	<b>SUBTOTAL</b>
Materiales estructurales	\$ 188.32	\$ 296.32
Mano de obra	\$ 108.00	
<b>SISTEMA DE DOSIFICACIÓN - BLOQUE</b>	<b>COSTO UNIT.</b>	<b>SUBTOTAL</b>
Materiales estructurales	\$ 2816.75	\$ 3715.05
Elementos neumáticos	\$ 448.30	
Mano de obra	\$ 450.00	
<b>TOLVA DE ALIMENTACIÓN</b>	<b>COSTO UNIT.</b>	<b>SUBTOTAL</b>
Materiales estructurales	\$ 334.60	\$ 604.60
Mano de obra	\$ 270.00	
<b>CONEXIONES NEUMÁTICAS Y ELÉCTRICAS</b>	<b>COSTO UNIT.</b>	<b>SUBTOTAL</b>
Materiales	\$ 3355.32	\$ 3555.32
Instalación eléctrica y neumática	\$ 200.00	
	<b>TOTAL</b>	<b>\$ 9593.33</b>

Fuente: Propia

### 6.3. COSTOS INDIRECTOS

Los costos indirectos son aquellos que abarcan rubros de diseño, simulación y programación, materiales consumibles y costos imprevistos.

#### 6.3.1. DISEÑO, SIMULACIÓN Y PROGRAMACIÓN

En este rubro incurren el trabajo intelectual del Ingeniero Mecánico en lo que respecta al diseño y simulación, y el Ingeniero Electrónico en lo que respecta a la programación del PLC Siemens LOGO y diseño del tablero de control, detallados a continuación en la tabla 6-16:

Tabla 6-16: Costos de diseño, simulación y programación

Ingeniero	Costo Hora (USD)	Número de horas	Total (USD)
Mecánico	\$15.00	40	\$600.00
Electrónico	\$15.00	20	\$300.00
<b>TOTAL</b>			<b>\$900.00</b>

Fuente: Propia

A continuación se detalla una aproximación de los costos indirectos en la tabla 6-17:

Tabla 6-17: Costos indirectos

DESCRIPCIÓN	COSTO (USD)
Diseño, simulación y programación	\$900.00
Materiales consumibles	\$80.00
Imprevistos	\$300.00
<b>TOTAL</b>	<b>\$1280.00</b>

Fuente: Propia

### 6.4. COSTO TOTAL DEL PROYECTO

Por último se hace un resumen en la tabla 6-18 del costo total del proyecto considerando ambos costos directos e indirectos calculados previamente.

Tabla 6-18: Costo total del proyecto

DESCRIPCIÓN	COSTO (USD)
Costos Directos	\$ 9593.33
Costos Indirectos	\$ 1280.00
<b>TOTAL</b>	<b>\$ 10873.33</b>

Fuente: Propia

## **CAPÍTULO 7.**

### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

El diseño del sistema de dosificación de jabón de glicerina del presente proyecto de titulación establece las siguientes conclusiones y recomendaciones.

#### **7.1. CONCLUSIONES**

- Se cumple con el objetivo de diseñar una máquina dosificadora de jabones de glicerina con capacidad de setenta y dos unidades por minuto y su sistema de avance; la misma que permite dosificar de manera constante y continua el producto con un gramaje de mínima tolerancia.
- El trabajo de diseño del presente prototipo consolida la concepción con respecto a la elaboración de la máquina dosificadora, partiendo desde lo más sencillo a lo más complejo, una vez clarificados los requerimientos y especificaciones del cliente y sentadas las directrices de elaboración del sistema de dosificación.
- El diseño de la máquina dosificadora cumple con las especificaciones requeridas por el cliente, además de mejoras que pueden servir para otros posibles productos, ya que para su realización se emplean criterios ingenieriles que garantizan el desempeño de la máquina dosificadora.
- La óptima elaboración del sistema de dosificación requiere de la intervención de personal cualificado para diseñar, programar, construir y ensamblar los distintos elementos que integran la máquina, garantizando así una idónea cadena de valor del producto y consecuentemente su óptima calidad.
- La máquina dosificadora y su sistema de avance permiten automatizar, en gran medida, el proceso de fabricación del jabón de glicerina, incorporando innovación a la compañía y por ende mayor eficiencia.

- La máquina dosificadora, debido a su diseño y materiales, además de emplearse en la industria cosmética también puede emplearse en la alimenticia, cuando se requieran de dosis precisas de volúmenes de ingredientes y/o productos finales.
- En la presente máquina se emplean componentes con materia prima que se puede encontrar fácilmente en el mercado local, por lo que para su fabricación posterior no presenta inconvenientes.
- El diseño de la unidad dosificadora presenta como mayor dificultad el diseño del mecanismo de dosificación, para lo cual se hace uso de catálogos y experiencias de otras personas que manejan este tipo de maquinaria, logrando así, una máquina que incorpora sistemas que cumplen los requerimientos básicos del cliente.
- El análisis por elementos finitos es un gran aporte para la ingeniería, reduciendo tiempos de cálculos e iteraciones. Su aporte gráfico permite entender con mayor rapidez el problema y su solución. Demostrado en las simulaciones térmicas y mecánicas realizadas, dando resultados positivos y económicos; tal es el caso de la simulación con la niquelina axial que demuestra ser un componente redundante en el diseño previo.
- Del tercer escenario de simulación térmica, se observa que la temperatura máxima alcanzada es de 92 [°C], que es una temperatura que se encuentra dentro del rango de trabajo del duraluminio, por lo cual no tendrá consecuencias mecánicas.
- La elaboración de planos de conjunto, de taller y de procesos, permiten puntualizar los detalles constructivos con una lógica y eficiente ejecución durante su fabricación; todo el material siempre apoyado por normas, manuales y prontuarios.

- La incorporación de elementos de medición y de control permiten que la máquina se flexibilice en los productos con que puede trabajar.
- Se observa que los mayores costos de la máquina recaen en el sistema de dosificación y en los materiales neumáticos. Comparando con otras máquinas en el mercado local, esta máquina compite dentro de su categoría y sofisticación.
- El hecho de diseñar una máquina de calidad, como la del presente proyecto de titulación, no solo es importante para el cliente, va mucho más allá pues aporta al cambio de la matriz productiva de nuestro país.

## **7.2. RECOMENDACIONES**

- Al dosificar la máquina un producto que es de consumo humano, es imperativo limpiar con especial cuidado las partes que tienen contacto directo con el jabón base de glicerina, se sugiere hacerlo con agua caliente después del uso de la máquina, lo que evita que se solidifiquen posibles remanentes del producto dosificado.
- Se recomienda verter en la tolva de dosificación producto ya en estado líquido, a no más de 80 [°C], y cerrarla para disminuir la transferencia de calor hacia el ambiente, e iniciar el proceso de dosificación una vez alcanzado el rango de temperatura de trabajo de la unidad dosificadora.
- Prestar atención al ajuste del rango de temperatura (75 – 80) [°C] que debe tener el sistema de calentamiento de la unidad dosificadora, con la finalidad de que el producto no inicie un proceso de solidificación o se empiecen a formar natas, lo que puede afectar el rendimiento del equipo.
- Se debe usar una llave con ajuste de torque para evitar daños en el bloque dosificador.

- La capacitación al personal que utilice la máquina es muy importante para así evitar cualquier accidente, de igual forma se debe someter a la dosificadora a un programa de mantenimiento proactivo, para así asegurar el incremento de la vida útil de la misma.
- Realizar el análisis computacional con otras materias primas que puedan sustituir el bloque dosificador, que se pueda encontrar como producción nacional y así reducir costos.
- Realizar un estudio más detallado de la base de jabón de glicerina para determinar valores de sus características del producto local, y así mejorar el sistema de control de la máquina.

## BIBLIOGRAFÍA

### LIBROS CONSULTADOS

1. Bilurbina, I. y Liesa, F. (1990). *Materiales no metálicos resistentes a la corrosión*. Barcelona: Marcombo.
2. Budynas, R. (2012). *Diseño en Ingeniería Mecánica*. México: McGraw-Hill.
3. Budynas, R. y Nisbett, J. (2008). *Diseño en Ingeniería Mecánica de Shigley*. México: McGraw-Hill.
4. Cengel, Y. y Boles, M. (2006). *Termodinámica*. México: McGraw-Hill.
5. Groover, M. (1997). *Fundamentos de Manufactura Moderna: Materiales, Procesos y Sistemas*. México: Pearson Prentice Hall.
6. Kohan, M. (1995). *Nylon Plastics Handbook*. Munich: Hanser Publishers.
7. Larburu, N. (1995). *Prontuario de Máquinas*. Madrid: Ediciones Paraninfo.
8. Potter, M. y Wiggert, D. (2002). *Mecánica de Fluidos*. México: Thomson.
9. Roldan, J. (1989). *Neumática, Hidráulica y Electricidad Aplicada*. Madrid: Ediciones Paraninfo.
10. Vargas, J. (2013). *Guía de los Fundamentos del Dibujo Industrial*. Quito: E.P.N.

### TESIS CONSULTADAS

1. Cueva, C. y Flores, C. (2008). *Diseño de una mezcladora dosificadora de cremas cosméticas* (Proyecto de Titulación). Facultad de Ingeniería Mecánica. E.P.N., Quito.
2. Díaz, A. y Lescano, E. (2012). *Diseño y construcción de una máquina dosificadora de malvaviscos para la empresa EMPAG S.A.* (Proyecto de Titulación). Facultad de Ingeniería Mecánica. E.P.N., Quito.
3. Lucero, O. y Canchig, C. (2014). *Diseño de una máquina dosificadora de crema de relleno para galletas, con una capacidad de producción de 120 galletas por minuto para le empresa PRIMATEC* (Proyecto de Titulación). Facultad de Ingeniería Mecánica. E.P.N., Quito.
4. Ortega, M. y Carrillo, D. (2011). *Diseño y construcción de una máquina dosificadora de masa para la elaboración de humitas para la empresa Del Valle Lojano* (Proyecto de Titulación). Facultad de Ingeniería Mecánica. E.P.N., Quito.

## **ANEXOS**

## **ANEXO A-1**

**FICHA TÉCNICA DE BASE PARA ELABORAR JABÓN DE GLICERINA**

## **ANEXO A-2**

### **ESTUDIO REOLÓGICO DEL JABÓN BASE DE GLICERINA**

## **ANEXO A-3**

### **SIMULACIÓN TÉRMICA DEL BLOQUE MEDIANTE “AUTODESK SIMULATION MECHANICAL”**

## **ANEXO A-4**

**ANÁLISIS DE ESFUERZOS DE LA ESTRUCTURA SOPORTE MEDIANTE  
“AUTODESK INVENTOR (STRESS ANALYSIS)”**

**ANEXO A-5**  
**PROTOCOLO DE PRUEBAS**

**ANEXO A-6**  
**DIAGRAMA UNIFILAR NEUMÁTICO**

**ANEXO A-7**  
**CATÁLOGOS DE ELEMENTOS NORMALIZADOS**

**ANEXO A-8**  
**HOJAS DE PROCESO**

**ANEXO A-9**  
**PLANOS DE CONSTRUCCIÓN Y MONTAJE**