

**DISEÑO DE UN DISPOSITIVO AUTOMÁTICO PARA LA EXTRUSIÓN DE
PERFILES EN SILICONA PARA EMPAQUES DE OLLA A PRESIÓN EN LA
EMPRESA NACIONAL DE LICUADORAS NALLET SAS DE BOGOTÁ**

JUAN SEBASTIAN RODRIGUEZ MORA

Proyecto integral de grado para optar por el título de:

INGENIERO MECÁNICO

Orientador

OSCAR CHAMARRAVI GUERRA

Ingeniero Metalúrgico

FUNDACION UNIVERSIDAD DE AMÉRICA

FACULTAD DE INGENIERÍAS

PROGRAMA INGENIERÍA MECÁNICA

BOGOTÁ D.C

2021

NOTA DE ACEPTACIÓN

Nombre
Firma del director

Nombre
Firma del presidente Jurado

Nombre
Firma del Jurado

Nombre
Firma del Jurado

Bogotá, Octubre 2021

DIRECTIVOS DE LA UNIVERSIDAD

Presidente de la Universidad y Rector del Claustro

Dr. Mario Posada García-Peña

Consejero Institucional

Dr. Luis Jaime Posada García-Peña

Vicerrectora Académica y de Investigaciones

Dra. Alexandra Mejía Garzón

Vicerrector Administrativo y Financiero

Dr. Ricardo Alfonso Peñaranda Castro

Secretario General

Dr. José Luis Macías Rodríguez

Decano de la Facultad

Dr. Julio Cesar Fuentes Arismendi

Director de Programa

Ing. María Angélica Acosta Pérez

DEDICATORIA

Dedico este proyecto principalmente a mi madre, la cual siempre me apoyo incondicionalmente al momento de elegir esta carrera como profesión de vida, siempre tuvo una palabra de aliento y estuvo en todo momento para mí en este largo camino; a mi hermano, el cual siempre ha sido mi guía y punto de referencia, al apoyo incondicional cuando más difícil era el camino; a mi padre, por enseñarme a cumplir las metas de vida propuestas; y a cada una de las personas que me guiaron en este camino.

Juan Sebastián Rodríguez Mora

AGRADECIMIENTOS

Agradezco al Ingeniero Oscar Chamarravi Guerra por guiarme en este proyecto de grado; Al Ingeniero Carlos Cartagena, aunque ya no se encuentre en la universidad, fue un ejemplo a seguir desde que tuve la oportunidad de conocerlo; agradezco también al ingeniero Larry Torres y Jhonatan Torres por darme la oportunidad de realizar el proyecto dentro de las instalaciones de la empresa Nacional de Licuadoras Naliet S.A.S, por último, a mis compañeros y futuros colegas en esta profesión.

Las directivas de la Universidad de América, los jurados calificadores y el cuerpo docente no son responsables por los criterios e ideas expuestas en el presente documento. Estos corresponden únicamente a los autores.

TABLA DE CONTENIDO

	pág.
1. INTRODUCCION	18
1.1 Planteamiento del problema	19
1.1.1 <i>Proceso</i>	19
1.1.2 <i>Detección del problema</i>	21
1.2 Justificación	21
1.3 Objetivos	22
1.3.1 <i>General</i>	22
1.3.2 <i>Específicos</i>	23
1.4 Delimitación	23
1.5 Hipótesis propuesta de la solución	23
2. MARCO TEÓRICO – CONCEPTUAL	24
2.1 Propiedades del material	24
2.2 Materia prima	25
2.3 Proceso de extrusión industrial.	26
2.3.1 <i>Extrusión de cordones de silicona</i>	28
2.3.2 <i>Esquema del proceso</i>	30
2.3.3 <i>Cilindro hidráulico</i>	31
2.3.4 <i>Pistón o ariete</i>	32
2.3.5 <i>Cámara de carga</i>	33
2.3.6 <i>Boquilla de extrusión</i>	34
2.3.7 <i>Banda transportadora</i>	35
2.4 Tipos de sistemas de extrusión con pistón	36
2.4.1 <i>Extrusión en frio</i>	36
2.4.2 <i>Extrusión directa</i>	38
2.4.3 <i>Extrusión indirecta</i>	38
2.4.4 <i>Extrusión hidrostática</i>	38

2.5	Empaque para olla a presión	39
3.	ANTECEDENTES	42
4.	DISEÑO METODOLÓGICO	45
4.1	Tipo de trabajo a realizar	45
4.2	Diagrama de flujo	45
4.3	Cronograma de actividades	46
5.	ANALISIS DE RESULTADOS	47
5.1	Diagnostico del proceso actual de extrusion de la empresa naliet sas.	47
5.1.1	<i>Generalidades de la empresa</i>	47
5.1.2	<i>Diagnóstico de la situación actual</i>	48
5.1.3	<i>Comparación del proceso de la empresa con la industria</i>	51
5.1.4	<i>Requerimientos básicos y exigencias funcionales</i>	54
5.2	Diseño conceptual y planteamiento de alternativas	58
5.2.1	<i>Diseño conceptual</i>	58
5.2.2	<i>Planteamiento de alternativas</i>	61
5.2.3	<i>Selección de la alternativa para el proyecto</i>	64
5.3	Diseño detallado	73
5.3.1	<i>Datos de entrada</i>	73
5.3.2	<i>Diseño de sistema de abastecimiento</i>	75
5.3.3	<i>Diseño de sistema de extrusión</i>	85
5.3.4	<i>Diseño de sistema de arrastre y corte</i>	144
5.3.5	<i>Automatización del sistema</i>	156
5.3.6	<i>Análisis por elementos finitos</i>	166
5.4	Manuales	177
5.4.1	<i>Manual de operación.</i>	177
5.4.2	<i>Manual de ensamble.</i>	180
5.4.3	<i>Manual de mantenimiento.</i>	189

5.5. Analisis financiero y ambiental	197
5.5.1 <i>Análisis ambiental.</i>	197
5.5.2 <i>Análisis financiero.</i>	202
6. CONCLUSIONES	206
BIBLIOGRAFIA	207
ANEXOS	

LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1. Dimensiones y geometría del material	25
Figura 2. Propiedades del material	26
Figura 3. Esquema de una extrusora convencional	27
Figura 4. Sistemas de extrusión de tubos y perfiles	28
Figura 5. Sistema de extrusión con pistón	29
Figura 6. Tipos de perfiles	29
Figura 7. Productos de extrusión	30
Figura 8. Esquema de proceso	31
Figura 9. Ubicación cilindro hidráulico	32
Figura 10. Conexión y sistema de mangueras	32
Figura 11. Posición inicial y final del pistón	33
Figura 12. Residuos de material	33
Figura 13. Máquina de extrusión por pistón	34
Figura 14. Cilindro de carga	34
Figura 15. Boquilla	38
Figura 16. Banda transportadora	35
Figura 17. Extrusión en frío	37
Figura 18. Extrusion en frío por impacto	37
Figura 19. Proceso de extrusión indirecta	38
Figura 20. Extrusion hidrostática	39
Figura 21. Moldeo por transferencia	40
Figura 22. Proceso de molienda	43
Figura 23. Proceso de extrusión	44
Figura 24. Diagrama de flujo	45
Figura 25. Cronograma de actividades	46
Figura 26. Geometría y ubicación del material	49
Figura 27. Cambio de posición cámara de alimentación	49
Figura 28. Avance del cordón extruido	50
Figura 29. Ubicación de los cordones extruidos	51

Figura 30. Cilindro hidráulico y mesa de trabajo	54
Figura 31. Ubicación cámara de alimentación	55
Figura 32. Banda transportadora	56
Figura 33. Dimensiones de área de trabajo	57
Figura 34. Esquema caja negra, detalles generales	59
Figura 35. Caja gris	60
Figura 36. Alternativa 1	62
Figura 37. Alternativa 2	63
Figura 38. Alternativa 3	64
Figura 39. Diagrama de flujo para diseño	72
Figura 40. Esquema de sistema de abastecimiento.	75
Figura 41. Cámara de carga	78
Figura 42. Zona de alimentación, compresión y dosificación	86
Figura 43. Parámetros husillo	87
Figura 44. Esquema de volumen	92
Figura 45. Esquema de balance de masa	94
Figura 46. Diagrama de cuerpo libre del husillo	97
Figura 47. Análisis husillo como columna	100
Figura 48. Momento flector husillo	101
Figura 49. Factor a	103
Figura 50. Factor de servicio	106
Figura 51. Referencia del motor	108
Figura 52. Motor monofásico de 4 polos	108
Figura 53. Caja reductora a 3 hp	109
Figura 54. Variador de velocidad	111
Figura 55. Diagrama de conexión potenciómetro	112
Figura 56. Potenciómetro	113
Figura 57. Elementos de sistema de transmisión	114
Figura 58. Margen compensatorio de seguridad	115
Figura 59. Tabla de capacidades de cadena	116
Figura 60. Tabla de piñones paso 3/4	117
Figura 61. Plano de piñón	118

Figura 62. Tabla de valores k	120
Figura 63. Tabla de cuñeros	121
Figura 64. Dimensiones de eje	121
Figura 65. Fuerzas generadas en el sistema de transmisión	122
Figura 66. Esfuerzos externos	123
Figura 67. Diagrama de cuerpo libre eje y	124
Figura 68. Reacciones en los apoyos eje y	125
Figura 69. Esfuerzo cortante eje y	125
Figura 70. Momento flector eje y	125
Figura 71. Diagrama de cuerpo libre eje z	126
Figura 72. Reacciones en los apoyos eje z	127
Figura 73. Esfuerzo cortante eje z	127
Figura 74. Momento flector eje z	127
Figura 75. Factor kt	128
Figura 76. Tabla de acabado superficial	131
Figura 77. Factor de tamaño	132
Figura 78. Factor kc	133
Figura 79. Factor ke	133
Figura 80. Factor q	133
Figura 81. Factor Kt	136
Figura 82. Límite de resistencia a la fatiga	136
Figura 83. Rodamiento de bolas primera sección	138
Figura 84. Factor de confiabilidad	140
Figura 85. Factor de aplicación	140
Figura 86. Rangos carga equivalente	141
Figura 87. Rodamiento de bolas segunda sección	142
Figura 88. Molde de extrusión	143
Figura 89. Unión entre boquilla y molde	144
Figura 90. Esquema del sistema arrastre y corte	146
Figura 91. Cuchilla plana Stanley	147
Figura 92. Esquema de tensiones	153
Figura 93. Banda transportadora Cimexsa	156

Figura 94. Diagrama hidráulico	158
Figura 95. Diagrama neumático	159
Figura 96. Plc logo con modulo adicional	160
Figura 97. Selector de 3 posiciones	161
Figura 98. Líneas automáticas y manuales FBD	163
Figura 99. Plano FBD en condiciones iniciales	163
Figura 100. Plano de potencia en condiciones iniciales	164
Figura 101. Ubicación de los breakers	165
Figura 102. Activación del sistema hidráulico	165
Figura 103. Activación de motores	166
Figura 104. Activación del sistema neumático	167
Figura 105. Unión flanche de sujeción	168
Figura 106. Ubicación cargas y restricciones	169
Figura 107. Desplazamiento nodal flanche	169
Figura 108. Esfuerzos resultantes flanche de sujeción	170
Figura 109. Factor de seguridad flanche de sujeción	170
Figura 110. Cámara de carga	171
Figura 111. Ubicación de cargas cámara de carga	172
Figura 112. Desplazamiento nodal cámara de carga	172
Figura 113. Esfuerzos resultantes cámara de carga	173
Figura 114. Esfuerzos resultantes cámara de carga vista superior	174
Figura 115. Factor de seguridad cámara de carga	174
Figura 116. Estructura de apoyo	175
Figura 117. Cargas aplicadas a la estructura	176
Figura 118. Desplazamiento nodal estructura	176
Figura 119. Esfuerzos resultantes estructura	177
Figura 120. Factor de seguridad estructura	177
Figura 121. Dispositivo de extrusión automático	179
Figura 122. Tablero de control	182
Figura 123. Espacio disponible	183
Figura 124. Sistema de extrusión	184
Figura 125. Despiece sistema de extrusión	184

Figura 126. Sujeción del barril a la estructura	185
Figura 127. Sujeción correderas para cadena	186
Figura 128. Ajuste de boquilla y molde de extrusión	186
Figura 129. Despiece sistema de abastecimiento	187
Figura 130. Listado de piezas de sistema de extrusión	187
Figura 131. Ajuste de cilindro hidráulico a cámara de carga	188
Figura 132. Ajuste de boquilla molde de extrusión	188
Figura 133. Despiece sistema arrastre y corte	189
Figura 134. Elementos sistema arrastre y corte	189
Figura 135. Ubicación banda de arrastre	190
Figura 136. Alineación banda de arrastre	190
Figura 137. Tabla de duración de empaques	195
Figura 138. Ubicación de empaques	196
Figura 139. Graseo de rodamiento	197
Figura 140. Posicionamiento de elementos de corte	198
Figura 141. Criterios de evaluación matriz EPM	201

LISTA DE TABLAS

	pág.
Tabla 1. Ventas actuales	20
Tabla 2. Tiempos de producción	22
Tabla 3. Características de empaques	44
Tabla 4. Cuadro comparativo	55
Tabla 5. Tiempos de proceso de extrusión	61
Tabla 6. Puntuación de facilidad operacional	68
Tabla 7. Puntuación de costos	69
Tabla 8. Puntuación de mantenimiento	69
Tabla 9. Puntuación requerimientos de potencia	69
Tabla 10. Matriz de ponderación	71
Tabla 11. Tiempos de extrusión por cordón	73
Tabla 12. Experimento de presión de operación	82
Tabla 13. Relación área, velocidad y caudal	97
Tabla 14. Tiempos de extrusión del proyecto	145
Tabla 15. Comparación entre tiempos	145
Tabla 16. Diámetros de rodillo	149
Tabla 17. Cargas muertas	150
Tabla 18. Rango de longitud de banda	153
Tabla 19. Tabla de selección de motor	151
Tabla 20. Factores t1 y t2	154
Tabla 21. Entradas programadas	161
Tabla 22. Salidas programadas	162
Tabla 23. Elementos a analizar por MEF	167
Tabla 24. Capacidad de extrusión	180
Tabla 25. Consumo eléctrico	180
Tabla 26. Actividades de mantenimiento	192
Tabla 27. Actividades de inspección	193
Tabla 28. Actividades de ajuste	194
Tabla 29. Actividades de lubricación y cambio	194

Tabla 30. Actividades de limpieza	194
Tabla 31. Importancia matriz EPM	202
Tabla 32. Matriz EPM	203
Tabla 33. Cotización para montaje de maquina	204
Tabla 34. Costo de ingeniería	205
Tabla 35. Comparación ganancia bruta	205

RESUMEN

Este proyecto tuvo como finalidad realizar el diseño de un dispositivo automatizado para la extrusión de tres diferentes longitudes de perfiles cilíndricos de silicona para la fabricación de empaques para olla a presión por parte de la empresa Nacional de Licuadoras Naliet S.A.S, donde se pretendía mejorar el proceso de extrusión implementando un sistema de producción continuo de extrusión y corte, buscando aumentar la producción de cordones de silicona, disminuir tiempos de producción, reducir costos de fabricación y operación y disminuir riesgos de seguridad industrial a los operarios.

Este proyecto se desarrolló mediante el análisis del proceso de extrusión e inyección planteando alternativas de diseño basadas en las máquinas para el proceso actual como extrusoras tipo RAM e inyectoras para polímeros convencionales, evaluando una a una bajo el criterio de mejorar la calidad del producto, entre otros, utilizando los elementos propuestos por la empresa.

Se desarrollo el diseño detallado de la máquina, realizando los cálculos correspondientes para los elementos que intervienen en una máquina de estas características, validando los resultados mediante simulaciones en Software.

Al obtener los cálculos correspondientes, se realizaron los planos de ubicación, ensamble y fabricación, además de los planos para la automatización correspondiente, elaborando los correspondientes manuales de operación mantenimiento y montaje.

Por último, se realizó el análisis de impactos negativos ambientales y el estudio financiero para la fabricación del dispositivo.

Palabras clave: Extrusión, caucho de silicona, diseño de máquinas, automatización, husillo.

1. INTRODUCCION

En la empresa Nacional de licuadoras Naliet S.A.S se descubrió el problema en el proceso de Extrusion para la fabricación de empaques para olla a presión, al ser una pequeña empresa, fue necesario implementar un proceso diferente y más artesanal al que se conoce a nivel industrial para poder competir con los precios de mercado, a su vez, identifiqué que el proceso puede ser mejorado, por ello, es importante la solución del problema planteado para este proyecto.

Para encontrar la solución del problema, se planteó como objetivo general “Diseñar un dispositivo automático para la extrusión de perfiles de silicona de tres diferentes longitudes para empaques de olla a presión la Empresa Nacional de Licuadoras Naliet S.A.S.”, planteando los siguientes objetivos específicos para darle cumplimiento al objetivo general del proyecto:

- ✓ Diagnosticar el proceso actual de extrusión de polímeros de la empresa, comparándola con el proceso de extrusión en la industria, estableciendo los requerimientos básicos y exigencias funcionales.
- ✓ Plantear alternativas funcionales para el sistema de extrusión desarrollando el diseño conceptual.
- ✓ Realizar el diseño de detalle del dispositivo automático y validando por el método de elementos finitos.
- ✓ Elaborar manuales de operación, mantenimiento y ensamble.
- ✓ Desarrollar un análisis financiero del proyecto y de impacto ambiental en la fabricación del dispositivo automático.

El alcance del proyecto consiste en el diseño y análisis de resultados, No se construirá el dispositivo ni ningún prototipo debido a la limitación de tiempo y presupuesto, lo que indica que la construcción estará a cargo de la empresa. Para el desarrollo del proyecto se utilizará una metodología de análisis evaluativo y aplicativo, donde se evaluarán tiempos de producción, calidad en el producto y seguridad industrial, satisfaciendo las necesidades de los problemas existentes.

1.1 Planteamiento del problema

1.1.1 Proceso

La empresa nacional de licuadoras Naliet S.A.S se especializa en la fabricación de repuestos y accesorios para productos del hogar, principalmente en productos y elementos de cocina.

Uno de los procesos que trabaja la empresa es la fabricación de empaques para olla a presión de tres referencias diferentes, los cuales son fabricados en silicona, mediante un proceso de tres etapas. La primera etapa consiste en la preparación del material (20 kilogramos), la cual es el proceso de transformación de la silicona con ayuda de un agente químico (el cual funciona como acelerante que permite la vulcanización en la última etapa), son mezclados en un molino de rodillos donde se amasa y lamina el material, la lámina de silicona es enrollada y cortada formando cilindros de diámetro 2,5 centímetros y de longitud 10 centímetros, con un peso de 75g, esta medida será necesaria para la siguiente etapa del proceso.

En la segunda etapa se desarrolla el proceso de extrusión en frío del material formando un cordón de silicona, el proceso se lleva a cabo en un elemento cilíndrico que cumple la función del barril vertical, cuenta con un agujero en un extremo y una boquilla en el otro extremo, el cual debe ser manipulado manualmente para la alimentación del material, este cilindro debe ubicarse horizontalmente por el operario el cual en este momento introduce el rollo de silicona por un extremo, y debe volver a posicionarlo verticalmente para el inicio del proceso de extrusión, después de esto el operario debe accionar un cilindro hidráulico de pistón el cual ingresa por el mismo extremo donde fue alimentado el elemento cilíndrico, posteriormente el material es comprimido al lado opuesto donde la boquilla se encarga de transformar las dimensiones del material en un cordón de silicona de perfil cilíndrico con el diámetro requerido, esta boquilla puede removerse y cambiarse fácilmente ya que la presión que ejerce el material y el pistón, no deforma la estructura de la boquilla. El cordón que se genera debe ser acompañado por el operario que, con ayuda de una banda transportadora fabricada por la empresa, determina visualmente la longitud necesaria y luego procede a cortar el cordón manualmente ubicándolos uno por uno en una mesa de trabajo. Es usual que los cordones extruidos presenten burbujas de aire en

el cuerpo las cuales se pueden visualizar en la superficie del cordón, además de que el operario no siempre consigue dar la longitud adecuada al cordón.

Como resultado del proceso diariamente se cortan entre 150 y 170 cordones de material del mismo perfil para iniciar la tercer y última etapa del proceso de fabricación. Para la boquilla de 5 milímetros el cordón tiene un peso de 15 gramos aproximadamente y se generan por carga 5 unidades en un tiempo de 7 minutos, los cuales se dividen en: dos (2) minutos en el proceso de extrusión y cinco (5) minutos en el proceso de salida del pistón, alimentación e inicio del proceso, esto representa 210 minutos (3.5 horas) en el proceso de extrusión. Para el cordón que tiene un peso de 35 gramos aproximadamente y se generan por carga 3 unidades en el mismo tiempo, esto representa 350 minutos (5.8 horas) en el proceso de extrusión.

Para la tercera y última etapa, para iniciar con el proceso de moldeo por compresión, el cual concluye la fabricación del empaque de la olla a presión, es necesario tener el lote de cordones cortados para que sea un proceso continuo y la prensa no pierda temperatura.

Después de la fabricación, la empresa pone en venta los empaques de olla a presión obteniendo los resultados descritos en la tabla 1. Considerando la cantidad de empaques de las 3 referencias, la característica principal, costo de fabricación (Costo 1), costo de venta al público (Costo 2), utilidad neta y utilidad bruta.

Tabla 1.

Ventas actuales

Ref.	Cantidad	Característica	Costo 1 (COP)	Costo 2 (COP)	Utilidad neta	Utilidad bruta
1	900	Pequeño	500	1000	900.000	450.000
2	1300	Mediano	900	1500	1'950.000	780.000
3	800	Grande	1000	2000	1'600.000	800.000

Nota. Tabla ventas actuales registrados en la empresa NALIET S.A.S.

De lo anterior, se puede concluir que la utilidad bruta de la producción total del empaque para olla a presión en la empresa es de 2'030.000.

1.1.2 Detección del problema

El proyecto está enfocado en el proceso de extrusión con pistón, el cual radica en la aplicación de presión a un elastómero previamente tratado químicamente; en la actualidad el proceso se realiza manualmente en su mayoría ya que existe un operario el cual, debe suministrar el material al cilindro de carga y posteriormente, activar el cilindro hidráulico que punza el material, además, debe acompañar con la mano un extremo del cordón y remolcar con ayuda de una banda transportadora un cordón a la vez y cortarlo de forma manual para conseguir la longitud deseada, esto genera demoras en el proceso de extrusión, desperdicio de material y piezas inservibles al no conseguir la longitud exacta que requiere el molde de compresión en la tercera etapa del proceso, sobrecostos para la empresa y riesgos físicos para el operario al momento de alimentar el elemento cilíndrico.

En la actualidad la empresa ha analizado la posibilidad de compra de una extrusora de pistón vertical o una inyectora buscando optimizar el proceso, pero no ha tenido resultados positivos ya que la compra de la máquina, elevaría el costo de fabricación del empaque, además la empresa cuenta con maquinaria para la fabricación del empaque como lo son el cilindro hidráulico y la prensa de moldeo por compresión.

1.2 Justificación

En la empresa nacional de licuadoras Naliet SAS, se desarrolla el proceso de fabricación del empaque de olla a presión el cual se divide en tres etapas, la preparación del material, el proceso de extrusión y el proceso de moldeo por compresión. Este proyecto está enfocado en el proceso de extrusión en el cual se debe cortar diariamente 150 cordones de caucho de silicona del mismo perfil. Teniendo en cuenta que la empresa fabrica tres referencias diferentes de empaque de distintas longitudes, se tomaron los tiempos de proceso actual por carga de material como se ve en la Tabla 2, considerando la longitud de cordón en centímetros, las unidades extruidas por carga de material, los tiempos se clasifican de la siguiente manera.

- ✓ T1: Tiempo de extrusión por avance del pistón.
- ✓ T2: Tiempo en el proceso de alimentación puesta a punto para el inicio del proceso.
- ✓ TP: Tiempo de proceso de extrusión por carga de material.

✓ T total: Tiempo total de 150 a 170 cordones.

Tabla 2.

Tiempos de producción.

Ref.	Cantidad	Longitud (mm)	Peso (gr)	Unidades por carga	T 1 (min)	T 2 (min)	T P (min)	T total (hrs)
1	150	450	15	5	2	5	7	3.5
2	150	600	25	4	2.5	5	7.5	4.5
3	150	750	35	3	2	5	7	5.8

Nota. Esta tabla muestra los tiempos de producción en el proceso de extrusión en la empresa NALIET S.A.S.

Concluyendo lo anterior; en la fabricación de la cantidad de cordones de silicona, para el empaque de referencia 1 tiene un tiempo total de 3.5 horas, para la referencia 2 tiene un tiempo de 4.5 horas y para la referencia 3 tiene un tiempo de 5.8 horas de la jornada laboral. El tiempo promedio T1 es 2 minutos y 10 segundos.

Con este proyecto se pretende aumentar la producción de cordones de silicona por carga de material de manera continua y controlar las tres diferentes longitudes del cordón mediante un sistema de corte automático, minimizando las burbujas de aire generadas en los cordones, además se requiere la disminución en una cuarta parte el tiempo de proceso actual, disminución de costos de manufactura en un 25%, reducir el riesgo a la integridad del operario al momento de manipular el sistema de alimentación, mejorar la calidad del producto, evitar el desperdicio de material con el sistema de corte automático y garantizar que la estructura del cordón no se vea afectada en el transporte a la prensa de moldeo evitando partículas contaminantes.

1.3 Objetivos

1.3.1 General

Diseñar un dispositivo automático para la extrusión de perfiles de silicona de tres diferentes longitudes para empaques de olla a presión la Empresa Nacional de Licuadoras Naliet S.A.S.

1.3.2 Específicos

- ✓ Diagnosticar el proceso actual de extrusión de polímeros de la empresa, comparándola con el proceso de extrusión en la industria, estableciendo los requerimientos básicos y exigencias funcionales.
- ✓ Plantear alternativas funcionales para el sistema de extrusión desarrollando el diseño conceptual.
- ✓ Realizar el diseño de detalle del dispositivo automático y validando por el método de elementos finitos.
- ✓ Elaborar manuales de operación, mantenimiento y ensamble.
- ✓ Desarrollar un análisis financiero del proyecto y de impacto ambiental en la fabricación del dispositivo automático.

1.4 Delimitación

Este proyecto se basa en el diseño de un dispositivo automático para la extrusión de perfiles de silicona con un sistema de corte para tres diferentes longitudes de cordón en el proceso fabricación de empaques para olla a presión en empresa Nacional de licuadoras – Naliet S.A.S.

El proyecto llegará hasta el diseño del dispositivo automático, sistema de corte para tres diferentes longitudes de cordón y almacenamiento de cordones extruidos, además, simulación por el método de elementos finitos, manuales de operación y mantenimiento, análisis de viabilidad económico y estudio ambiental, la alimentación del dispositivo estará a cargo del operario y la construcción de la maquina dependerá de la empresa.

1.5 Hipótesis propuesta de la solución

Diseño de un dispositivo automático de extrusión el cual será seleccionado entre una de las alternativas basadas en los métodos de extrusión con pistón existentes tales como; extrusión en frío, extrusión directa o extrusión indirecta con el fin de controlar la longitud del cordón de silicona sin pérdida de material, mejorar tiempos en el proceso de alimentación y extrusión, controlar el almacenamiento de perfiles y evitar al operario riesgos en seguridad y salud ocupacional.

2. MARCO TEÓRICO – CONCEPTUAL

2.1 Propiedades del material

Según Siegert K., autor del libro Extrusión [14], la silicona es un compuesto sintético perteneciente al grupo de los siloxanos, fabricada principalmente con oxígeno, silicio, hidrogeno y carbono, formando una cadena sólida. Debido a su diversidad de estructuras, la silicona puede tener una apariencia sólida, gomosa, viscosa o líquida, uno de los compuestos más comunes se obtiene cuando reacciona con ácido bórico dándole propiedades flexibles y fáciles de mecanizar, lo anterior depende principalmente del peso molecular de la silicona ya que esto controla su viscosidad y se define de la siguiente manera:

- ✓ Alto peso molecular: toma un aspecto gomoso
- ✓ Bajo peso molecular: toma un aspecto líquido o aceitoso.

También se debe tener en cuenta que químicamente, la silicona puede ser lineal o ramificada, teniendo en cuenta que usualmente son hebras de polímero individuales, para obtener las estructuras mencionadas anteriormente se deben reticular estas hebras, y esta reticulación se da sintetizando el polímero con grupos funcionales de cadenas que reaccionan entre sí o con ayuda de la humedad atmosférica [1], esta reticulación expande más el catálogo de siliconas y por consecuencia su uso, y dependiendo el grado de reticulación tenemos las siguientes características:

- ✓ Líquidas: Aceites de silicona.
- ✓ Geles (Ligeramente reticulado): Fluido vertible.
- ✓ Caucho (Mayor grado de reticulación).
- ✓ Espuma (Altamente reticulado).
- ✓ Abrigos: Acrílicos de sílice.

El caucho de silicona de referencia ZY-880 es el material indicado para la extrusión de cordones en el proceso de fabricación de empaques para olla a presión debido a que tiene una baja toxicidad y a su comportamiento termoplástico la cual es una característica que le permite cambiar su geometría a bajas temperaturas, entre otras propiedades adecuadas para el proceso como resistencia a altas temperaturas, alta flexibilidad y resistencia mecánica como se indica en el **Anexo 1**.

2.2 Materia prima

La empresa utiliza como materia prima el caucho de silicona de referencia ZY-880, este material debe ser preparado previamente para ser sometido a dos procesos para su acabado final, el proceso de extrusión y de vulcanizado. Primeramente, debe ser sometido a un proceso de transformación el cual consta de aplicar un colorante y un agente químico conocido como peróxido de zinc el cual funciona como acelerante lo cual permite la vulcanización en la etapa final de la fabricación del empaque definiéndose como un material termofijo, dándole características especiales como buena flexibilidad y propiedades mecánicas. Esta primera etapa se lleva a cabo en un molino de rodillos, donde se amasa y lamina el material, esta lamina es posteriormente enrollada y cortada formando cilindros de 2.5 centímetros de diámetro y una longitud de 10 centímetros como podemos ver en la Figura 1.

Figura 1.

Dimensiones y geometría del material.



Nota. La figura representa la geometría que adopta el material para ser abastecida.

Debido a que este es un material que puede contaminarse fácilmente, este debe ser almacenado en lugares libres de humedad y con ventilación seca, no debe tener cerca ninguna fuente de calor ni ser expuesto directamente a luz solar.

El caucho de silicona es utilizado debido a que cuenta con las características que necesita el empaque para olla a presión, debido a que se debe soportar altas temperaturas y altas presiones sin alterar su estructura, propiedad de los polímeros termofijos, pues una vez estos alcanzan su temperatura máxima, adoptan la geometría requerida y esta no cambia al aplicarle altas temperaturas, en vez, sufre un desgaste por quemaduras, además, es un material flexible, fáciles de mecanizar y

de baja toxicidad. Las propiedades del material se observan en la Figura 2 (Para mayor detalle observar el Anexo 1).

Figura 2.

Propiedades del material Caucho de silicona

Technical Index									
Code	Appearance	Specific Gravity, g/cm ³	Hardness Shore A	Tensile Strength, MPa (z)	Elongation, % (z)	Tear Strength, kN/m (z)	Linear Shrinkage, %	Rebound(z) Elasticity, %	Plasticity
ZY-810	Translucent	1.06±0.03	10±3	1.5	400	5.50	3.8-4.2	45	95±15
ZY-820	Translucent	1.08±0.03	20±3	3.5	600	9.50	3.7-4.1	48	105±20
ZY-830	Translucent	1.10±0.03	30±3	5.5	415	10.5	3.6-4.0	58	130±15
ZY-840	Translucent	1.12±0.03	40±3	7.00	355	11.00	3.4-3.8	60	155±20
ZY-850	Translucent	1.14±0.03	50±3	7.50	315	11.00	3.2-3.6	60	195±20
ZY-860	Translucent	1.16±0.03	60±3	7.00	260	10.50	3.1-3.5	52	230±25
ZY-870	Translucent	1.18±0.03	70±3	6.00	200	9.00	2.9-3.3	46	250±25
ZY-880	Translucent	1.20±0.03	80±3	5.00	130	7.50	2.8-3.2	40	265±30

These figures are only intended as a guide and should not be used in preparing specifications.
 Vulcanization agent: DBPH (RC 4: 1 phw @ 50 P)
 Vulcanization conditions: 10 minutes @ 170°C. Or 175°C, 5 minutes. Post cured: 2 h @ 200°C.

Nota. La figura muestra la ficha técnica del caucho de silicona.
Tomado de: Dongguan New-Orient Technology Co. LTD, “Ficha técnica caucho de silicona multipropósito”

2.3 Proceso de extrusión industrial.

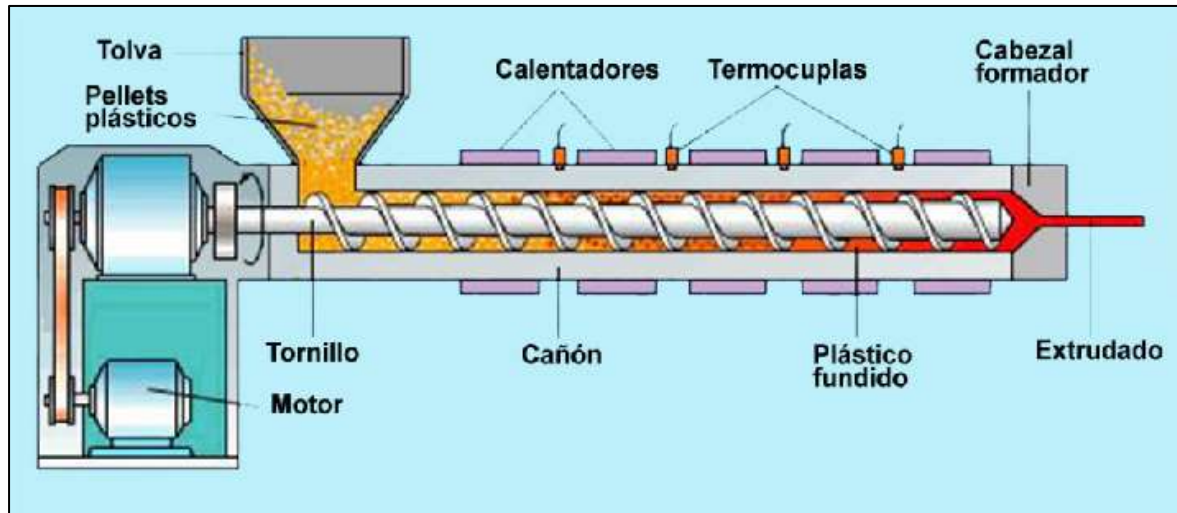
El proceso de extrusión se caracteriza por su versatilidad y diferentes aplicaciones, por este motivo, es utilizado en la manufactura de elementos tubulares, perfiles complicados, películas y recubrimientos tubulares o de cableado, láminas y películas planas, monofilamentos entre otros productos que requieran una sección transversal constante, dependiendo del uso, se debe reconocer el método de extrusión, debido a que este puede variar según el material, temperatura de operación o geometría del perfil.

Independientemente del proceso de extrusión que se utilice para la obtención del producto final, el cual muchas veces necesita un proceso posterior ya sea sellado, cortado o vulcanizado, estos tienen mucha similitud en el proceso hasta la salida de la boquilla, la máquina consta de un elemento impulsador, ya sea un eje metálico central con alabes helicoidales como husillo impulsado por un motor y un sistema de reducción de velocidad, el cual se encuentra dentro de un tanque o barril revestido por un elemento calefactor apoyado por resistencias eléctricas y a un extremo de este, la boquilla o dado la cual le da la forma final a la materia prima, además, el barril tiene un orificio usualmente en la parte superior destinado a la alimentación del sistema

mediante la instalación de una tolva generalmente cónica como se puede observar en la figura 3.

Figura 3.

Esquema de una extrusora convencional

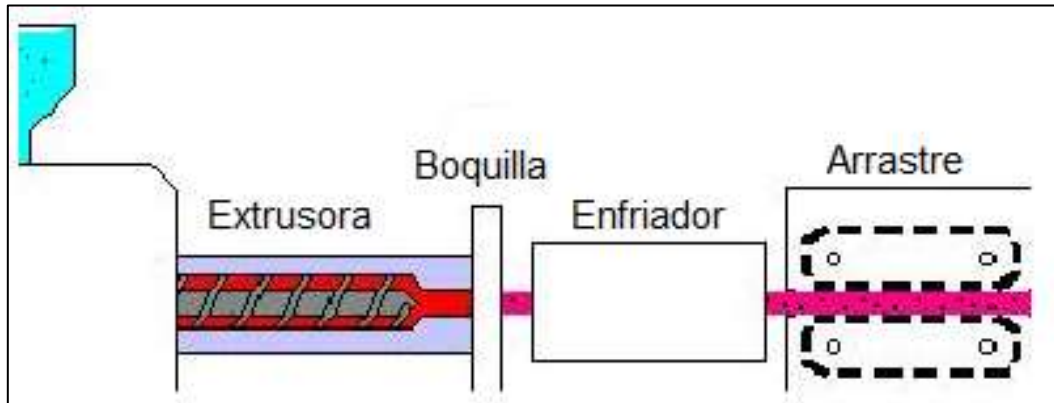


Nota. Esta figura muestra el esquema y las partes de una extrusora convencional.
Tomado de: "Extrusión Ram Tecnología de los Plásticos", [En línea].
Disponible: <https://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com/2011/03/extrusion-de-materiales-plasticos.html>

En la industria, el proceso de extrusión es muy utilizado para la fabricación de tubería y perfiles en polímeros, para estos, es necesario la instalación de un sistema de corte o enrollado que puede ubicarse a la salida de la extrusora o al final del proceso de arrastre, una unidad de formación o calibración que asegure que el producto adquiera las dimensiones necesarias para posteriores ensambles, para procesos a altas temperaturas, se necesitara una tina de enfriamiento la cual remueva el exceso de calor ayudando a que el producto no se deforme posteriormente, y por último un sistema de arrastre, este sistema de arrastre debe ir inmediatamente después de la tina de enfriamiento ya que, antes de la tina, no se le puede aplicar ningún tipo de fuerza o presión que haga avanzar el producto sin deformarlo permanentemente, este sistema tiene que estar siempre en movimiento. Los sistemas mencionados anteriormente se pueden observar en la figura 4.

Figura 4.

Sistemas de extrusión de tubos y perfiles.



Nota. Esta figura muestra los elementos que intervienen en la extrusión de tubería. **Tomado de:** "Extrusión Ram Tecnología de los Plásticos", [En línea]. Disponible: <https://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com/2011/03/extrusion-de-materiales-plasticos.html>

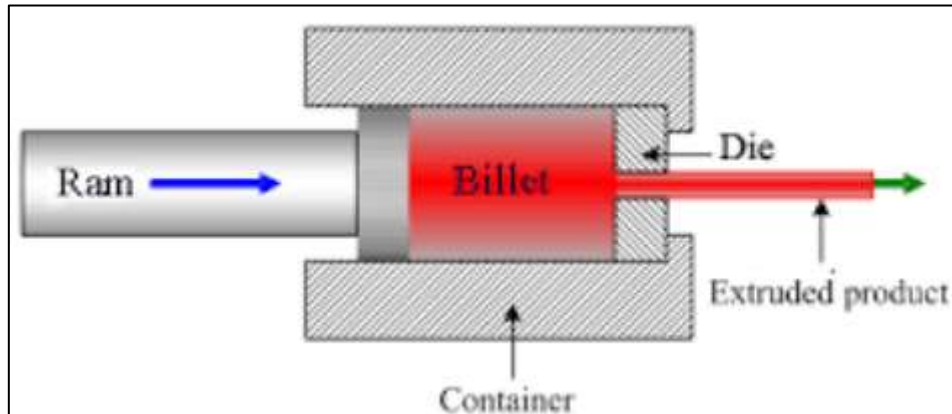
De igual manera, existen procesos de extrusión donde cambian componentes dentro del sistema, principalmente cambia el sistema de empuje, se reemplaza el husillo por un pistón de avance, el cual usualmente es impulsado por un sistema hidráulico reemplazando el sistema eléctrico y mecánico del motor, dándole al proceso más potencia y es utilizado para tratar materiales con una mayor resistencia principalmente metales, además de ser un proceso el cual debe realizarse a temperatura ambiente, este tipo de extrusión es conocido como extrusión Ram o extrusión por pistón.

2.3.1 Extrusión de cordones de silicona

El método utilizado por la empresa para la elaboración de los cordones de silicona es extrusión con pistón a temperatura ambiente, es un método de fabricación de perfiles que a diferencia de las extrusoras convencionales de husillo, este cuenta con un pistón o ariete. Debido a que el proceso realizado es a temperatura ambiente, es importante que el material pueda ser extruido fácilmente y pueda mantener la geometría deseada.

Figura 5.

Sistema de extrusión con pistón.

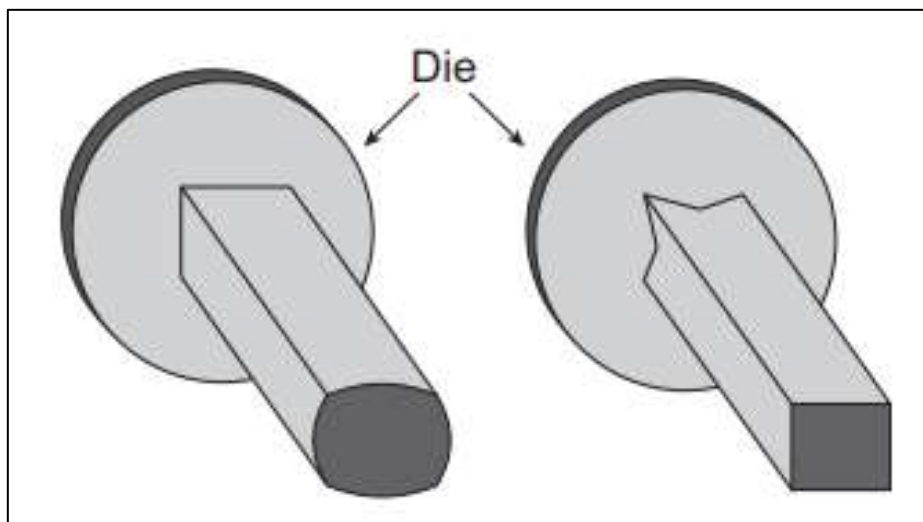


Nota. Esta figura muestra el proceso de extrusión tipo Ram. **Tomado de:** "Metal Extrusion Process and their application," 2016. [En línea]. Disponible: <https://techminy.com/extrusion/>.

El material debe ser introducido manualmente en un sistema de carga como se puede observar en la figura 5, cuando está en su posición, un pistón o ariete empuja el polímero desde la zona de extrusión hasta la boquilla la cual se encarga de darle el perfil deseado como se ve en la figura 6, los perfiles extruidos pueden ser cortados manualmente buscando conseguir la longitud deseada.

Figura 6.

Tipos de perfiles.



Nota. Esta figura muestra los perfiles que pueden ser obtenidos por las boquillas de Extrusión. **Tomado de:** J. R. C. Bralla, PLASTIC PROFILE EXTRUSIONS. McGraw-Hill Education, 1986.

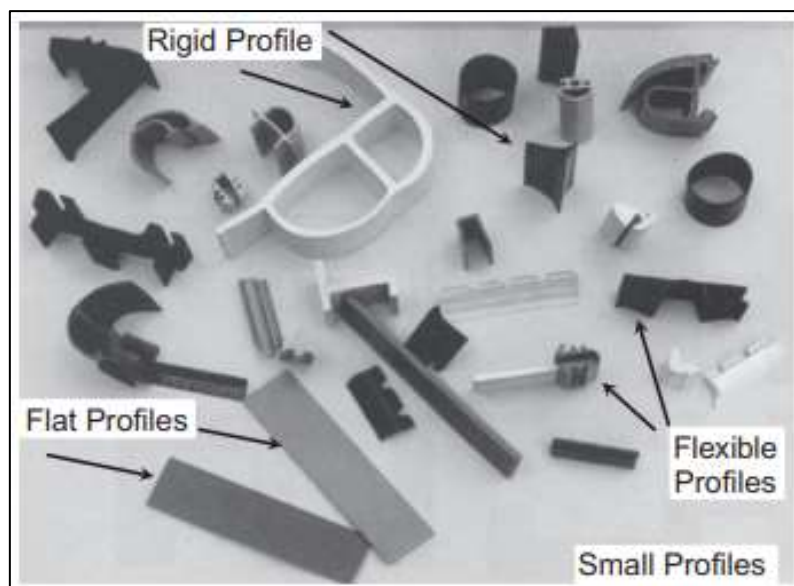
Dentro de las ventajas que tiene este tipo de extrusión es que el material puede ser precalentado o no, esto depende de las propiedades del mismo, puede ser

fabricada para trabajar con plásticos y metales, permite fabricar perfiles de sección transversal delgada y produce un buen acabado superficial, no obstante, aunque se estima una tasa de producción alta, la velocidad de producción está restringida por la estructura del material, la velocidad y potencia de avance del pistón y la resistencia mecánica de los componentes de construcción de la extrusora.

Este método de extrusión fue uno de los primeros utilizados en la industria de los plásticos, normalmente a altas temperaturas y materiales usualmente granulados. El método es utilizado en la fabricación de mangos de agarre, varillas, revestimientos de barras o alambres, tubos, bloques, láminas o perfiles ya sea para la posterior fabricación de empaques para automóviles, componentes de computadora en los que se necesite alta precisión, elementos de medicina, cocina y hogar como podemos ver en la Figura 7.

Figura 7.

Productos de extrusión.



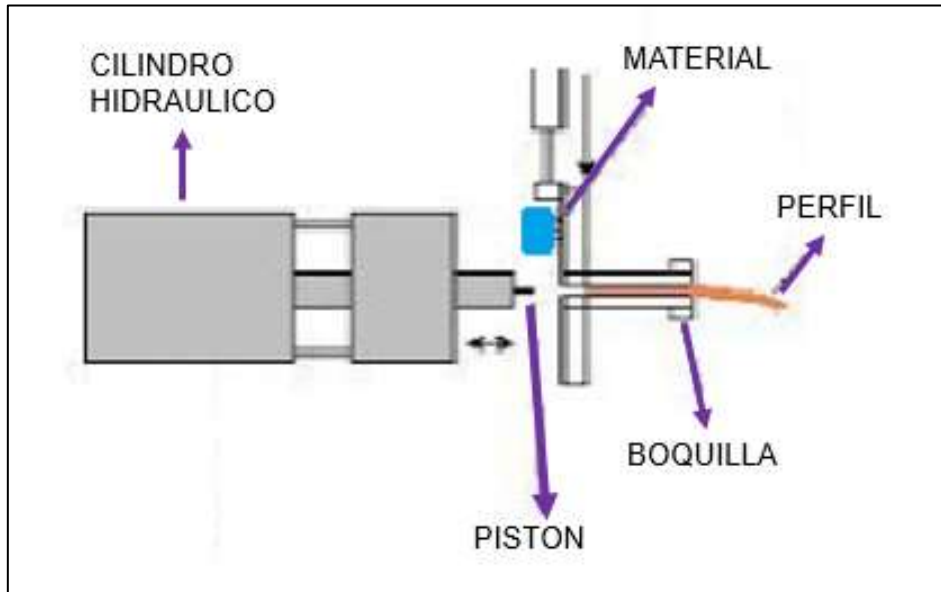
Nota. Esta figura muestra los productos que se pueden obtener mediante el proceso de extrusión. **Tomado de:** ProfileExtrusion_ExtrusionTheDefinitiv.pdf.

2.3.2 Esquema del proceso

El proceso inicia con la preparación de la prensa hidráulica y ubicando el pistón en la posición inicial, el sistema debe ser alimentado en la cámara de extrusión y posteriormente activar el pistón el cual empujara el material hasta la boquilla, la cual generara el perfil deseado como se ve en la figura 8.

Figura 8.

Esquema de proceso.



Nota. Esta figura muestra los elementos que intervienen en la extrusión de tubería. **Tomado de:** “Extrusión Ram Tecnología de los Plásticos”, [En línea]. Disponible: <https://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com/2011/03/extrusion-de-materiales-plasticos.html>

2.3.3 Cilindro hidráulico

El cilindro hidráulico utilizado para el proceso está instalado horizontalmente en una mesa de trabajo ajustado mediante 3 placas, una en la mitad y otras dos en la parte derecha del cilindro como se ve en la figura 5. Está conectado a un sistema hidráulico mediante un sistema de mangueras como se ve en la Figura 9, está diseñado para suministrar una presión de 200 bares y se encarga de proporcionar la fuerza al pistón para el proceso de extrusión

Figura 9.

Ubicación del cilindro hidráulico.



Nota. Esta figura muestra el cilindro hidráulico empleado por la empresa NALIET S.A.S para el proceso de Extrusion Ram.

Figura 10.

Conexión y sistema de mangueras



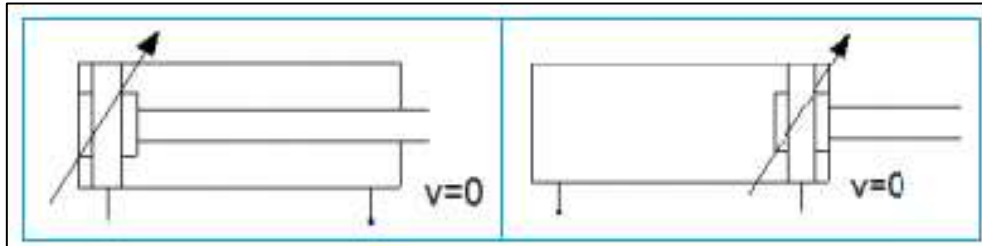
Nota. Esta figura muestra el sistema de mangueras y su respectiva conexión empleado por la empresa NALIET S.A.S para el proceso de Extrusion Ram.

2.3.4 Pistón o ariete

Es el encargado de transmitir la fuerza entregada por el cilindro hidráulico al material en la cámara de carga, es necesario que este se encuentre en la posición inicial para poder alimentar el sistema como se ve en la figura 11, para que posteriormente pueda salir y cumplir la función de comprimir el material en la cámara.

Figura 11.

Posición inicial y final del pistón.



Nota. Esta figura muestra el sistema de mangueras y su respectiva conexión empleado por la empresa NALIET S.A.S para el proceso de Extrusion Ram.

Al momento de realizar el proceso de salida y entrada, el pistón queda con residuos de caucho de silicona como se ve en la figura 12, el cual es limpiado por el operario posteriormente.

Figura 12.

Residuos de material.



Nota. Esta figura muestra el sistema de mangueras y su respectiva conexión empleado por la empresa NALIET S.A.S para el proceso de Extrusion Ram.

2.3.5 Cámara de carga

Generalmente la máquina de extrusión por pistón unifica el subsistema de empuje (cilindro hidráulico y pistón), el subsistema de carga (Dosificador y cámara de alimentación) y el sistema de desplazamiento del perfil extruido (Banda transportadora) como se ve en la Figura 13.

Figura 13.

Máquina de extrusión por pistón.



Nota. Esta figura muestra el sistema de arrastre en el proceso de Extrusión. **Tomado de:** “Extrusión Ram Tecnología de los Plásticos”, [En línea]. Disponible: <https://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com/2011/03/extrusion-de-materiales-plasticos.html>

En la empresa, el proceso de extrusión tuvo que ser adaptado fabricando una cámara de carga o alimentación la cual cumple la función de barril en una extrusora convencional, este se encuentra ubicado horizontalmente en la mesa de trabajo inmediatamente seguido del cilindro hidráulico como se ve en la Figura 14.

Figura 14.

Cilindro de carga.



Nota. Esta figura muestra el elemento para cargar el material empleado por la empresa NALIET S.A.S para el proceso de Extrusión Ram.

2.3.6 Boquilla de extrusión

La boquilla permite darle el perfil cilíndrico en forma de cordón al material como se observa en la Figura 15, esta puede ser fácilmente removida del cilindro de carga ya que esta se acopla a la cámara de carga mediante apriete de una rosca, esta boquilla fue diseñada por la empresa para facilitar el proceso de limpieza del mecanismo,

además, la presión que ejerce el material empujado por el pistón, no vence la resistencia de la boquilla ni sufre ningún tipo de alteración en su estructura.

Figura 15.

Boquilla.



Nota. Esta figura muestra la boquilla empleada por la empresa NALIET S.A.S para el proceso de Extrusion Ram.

2.3.7 Banda transportadora

La banda transportadora fue diseñada por la empresa, está fabricada de paño de tela el cual no permite que la materia prima se adhiera a esta y tiene una velocidad de avance de 35 cm/s. Facilita el arrastre del cordón extruido como se ve en la figura 16, y permite al operario acompañar el material para que este pueda cortarlo manualmente cuando alcanza la longitud necesaria.

Figura 16.

Banda transportadora.



Nota. Esta figura muestra el sistema de arrastre de tipo banda transportadora empleado por la empresa NALIET S.A.S para el proceso de Extrusion Ram.

2.4 Tipos de sistemas de extrusión con pistón

Para realizar una correcta elección del tipo de dispositivo de extrusión de perfiles a diseñar, se deberán tener en cuenta las siguientes consideraciones:

- ✓ Propiedades del material (Caucho de silicona).
- ✓ Presión del sistema de empuje (Cilindro hidráulico y pistón).
- ✓ Velocidad de extrusión.
- ✓ Dosis necesaria de material (Caucho de silicona).
- ✓ Salida del material.

Modo de servicio. De esta manera, se reconocen 4 sistema de extrusión con pistón considerando temperatura en el sistema y método de funcionamiento:

- ✓ Extrusión en frío.
- ✓ Extrusión directa o hacia adelante.
- ✓ Extrusión indirecta o hacia a atrás.
- ✓ Extrusión hidrostática.
- ✓ Extrusión por impacto.

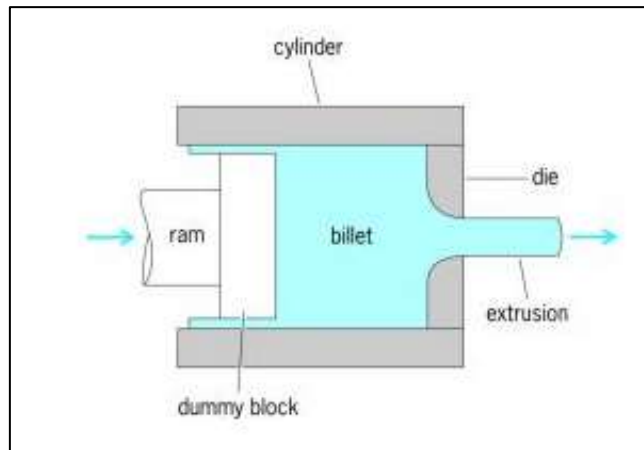
2.4.1 Extrusión en frío

Cuando hablamos de extrusión en frío, no se refiere a que el material sea puesto a condiciones de bajas temperaturas para que pueda ser procesado, se refiere a que la extrusión se lleva a cabo a temperatura ambiente, con el fin de que no se produzcan cambios microestructurales como sucede cuando se aplican altas temperaturas a la materia prima.

Para este proceso, la materia prima debe ser fácilmente moldeable ya que al aplicarle la fuerza a la geometría pre establecida, esta debe fluir por la boquilla con ayuda del pistón creando el perfil necesario como se ve en la figura 17.

Figura 17.

Extrusión en frío.

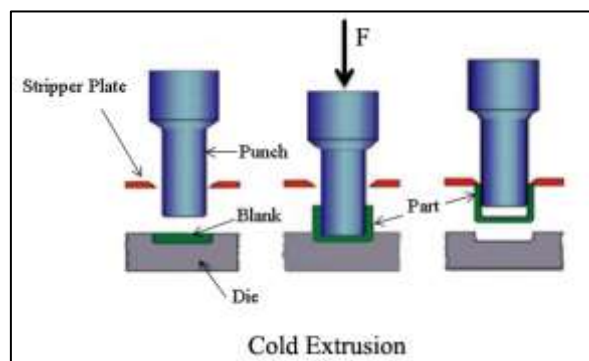


Nota. Esta figura muestra el proceso de Extrusión a temperatura ambiente **Tomado de:** K. Chaudhari, "COLD EXTRUSION." 2016, Accessed: Nov. 11, 2020. [En línea]. Disponible: <https://www.engineersgallery.com/cold-extrusion/>

A su vez, existe otro método de extrusión en frío conocido como extrusión de impacto, este método se aplica principalmente a metales, en el cual será necesario tener un molde establecido previamente y mediante el impacto de un pistón, el material fluye plásticamente adoptando la forma del molde que recibe el impacto como se ve en la Figura 18.

Figura 18.

Extrusión en frío por impacto.



Nota. Esta figura muestra el proceso de Extrusión por impacto. **Tomado de:** "Metal Extrusion Process and their application," 2016. Disponible: <https://techminy.com/extrusion/> (accessed nov. 11, 2020)

2.4.2 Extrusión directa

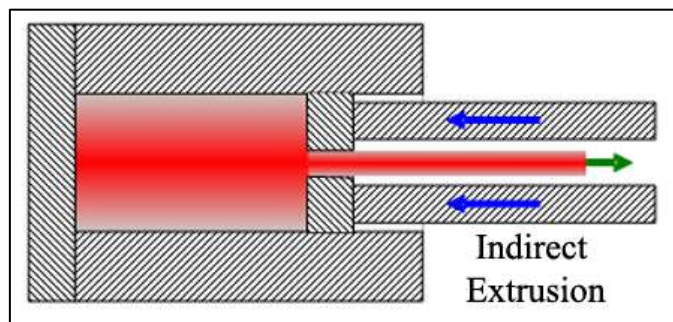
El método de extrusión directa o hacia adelante describe el proceso que maneja actualmente la empresa, y se puede observar en la figura 17.

2.4.3 Extrusión indirecta

Para el método de extrusión indirecta o hacia atrás, adopta el mismo principio de la extrusión directa, con la diferencia que será necesario un pistón de forma hueca, este hueco debe adoptar la forma del perfil deseado, el diseño de la cámara de almacenamiento es sellado y será rellena con el material a extruir, posteriormente el pistón hueco punzará el material permitiendo que este fluya a través del hueco del pistón como se ve en la figura 19.

Figura 19.

Proceso de extrusión indirecta.



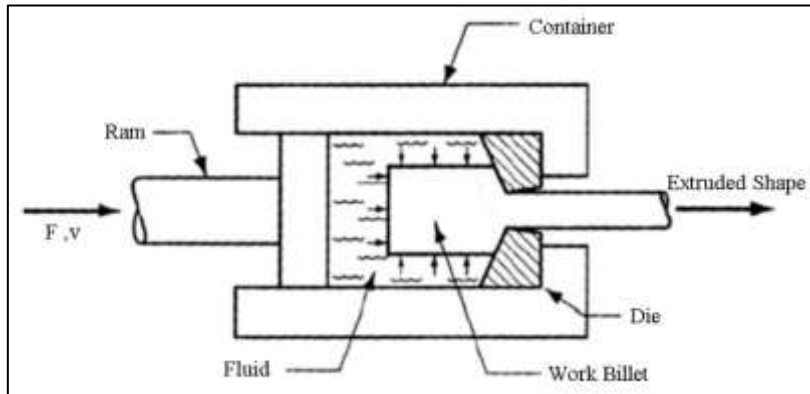
Nota. Esta figura muestra el proceso de Extrusion inversa o indirecta. **Tomado de:** "Metal Extrusion Process and their application," 2016. Disponible: <https://techminy.com/extrusion/> (accessed nov. 11, 2020)

2.4.4 Extrusión hidrostática

Este proceso de extrusión requiere una extrusora hidráulica en la cual, la cámara de almacenamiento, es rellena con el material e inmediatamente sellada, relleniéndola posteriormente con un fluido el cual, mediante el punzón, será presionado contra la materia prima y al no existir fricción dentro de la cámara, el material es extruido por una boquilla como se ve en la figura 20, este tipo de extrusión no es utilizada frecuentemente ya que no permite extrusiones muy largas, se utiliza para realizar perfiles de materiales los cuales no son fáciles de extruir como minerales o metales.

Figura 20.

Extrusión hidrostática.



Nota. Esta figura muestra el proceso de Extrusión hidrostática. **Tomado de:** "Metal Extrusion Process and their application," 2016. Disponible: <https://techminy.com/extrusion/> (accessed nov. 11, 2020)

Dentro de las aplicaciones más frecuentes se encuentran piezas en metal para automóviles, elementos electrónicos como difusores o conductos para arquitectura además de productos para ingeniería como marcos para bicicletas en materiales resistentes al estrés.

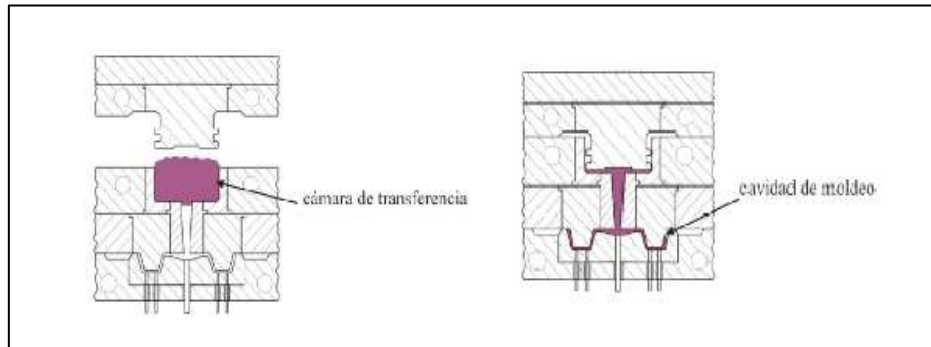
2.5 Empaque para olla a presión

Para la fabricación de empaques para olla a presión, La empresa nacional de licuadoras Naliet SAS recurre a un método poco convencional al momento de fabricar el producto ya que, usualmente estos productos son fabricados en máquinas de inyección, preparando el material dentro del tanque de la maquina e inyectando el material a moldes para realizar el proceso de vulcanización en un solo proceso unificado.

Otro método de fabricación de estos empaques es mediante el proceso de moldeo por transferencia, el cual es el proceso que más coincide con el proceso actual. Este método es desarrollado a partir del moldeo por compresión, en el cual el material normalmente granulado, es introducido en una cavidad dentro de la prensa, cuando esta se cierra, el material es transferido mediante canales a las cavidades de moldeo como se ve en la figura 21, este proceso es un punto intermedio entre el proceso de inyección y compresión.

Figura 21.

Proceso de moldeo por transferencia.



Nota. Esta figura representa el esquema de moldeo por transferencia con el molde abierto y cerrado. **Tomado de:** “*Moldeo por transferencia | Tecnología de los Plásticos,*” 2011. <https://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com/2011/10/moldeo-por-transferencia.html> (accessed nov. 11, 2020).

El método de moldeo por transferencia se aplico normalmente en materiales como:

- ✓ Resinas Epoxi.
- ✓ Resinas de poliéster insaturadas.
- ✓ Resinas de vinil Ester.
- ✓ Resinas de fenol – formaldehido.
- ✓ Elastómeros como caucho de silicona entre otros.

Los anteriores métodos de fabricación de empaques tienen mucha similitud al proceso el cual maneja la empresa para la fabricación del producto final, ya que cuenta con elementos como una prensa hidráulica la cual se encarga de realizar el proceso de vulcanización del material. No obstante, el proceso de extrusión del material es fundamental en la empresa, ya que, gracias a este método, se puede mantener un precio competitivo en el mercado.

La empresa se encarga de fabricar tres referencias diferentes de empaques, a continuación, se observan las características:

Tabla 3.

Características de empaques.

NOMBRE	CARACTERISTICA	PESO
Empaque Ref. 1	1 a 3 litros	15 gramos
Empaque Ref. 2	4 a 6 litros	25 gramos
Empaque Ref. 3	Olla universal	35 gramos

Nota. En la tabla anterior podemos observar la característica de fabricación para cada referencia de empaque, con su respectivo peso.

3. ANTECEDENTES

La empresa Nacional de licuadoras – NALIET S.A.S está enfocada en el proceso de manufactura de productos y accesorios primeramente para licuadoras, trabajando polímeros como silicona entre otros; aparte de procesos de moldeo de productos de licuadoras, maneja un proceso de moldeo de empaques para olla a presión.

La principal intención es producir cordones de silicona para empaques de olla a presión, el material es previamente tratado químicamente con el fin de alterar sus propiedades, generando la vulcanización en la etapa de moldeo por compresión, además, mediante un proceso de calandrado se cambia la geometría del material produciendo rollos de silicona. La empresa cuenta con una dependencia aparte para el desarrollo de este proceso la cual se encarga de hacer llegar el material en rollos cilíndricos listos para la etapa de extrusión.

En la etapa de extrusión, primeramente el operario alimenta manualmente un cilindro de carga con los rollos de silicona previamente formados, el material es comprimido mediante el avance del pistón de un cilindro hidráulico por el extremo donde fue alimentado el cilindro de carga, permitiendo que el material se acumule en el lado opuesto mediante la presión recibida por el pistón y posteriormente se transforme en un cordón de perfil cilíndrico gracias a una boquilla con el diámetro seleccionado para el proceso, siguiendo el principio de la extrusión por pistón en frío. Estos cordones de perfil cilíndrico son transferidos inmediatamente a una banda transportadora que ayuda al avance del cordón, el cual debe ser acompañado manualmente por el operario que, a su vez, debe visualizar la longitud del cordón y cortarlo cuando este considere que ha alcanzado la medida necesaria, posteriormente son transportados manualmente uno a uno, a una mesa almacenamiento.

En la industria existen maquinas las cuales podrían realizar el proceso como extrusoras de husillo convencionales, extrusoras de pistón, inyectoras y prensas de moldeo por transferencia, las cuales tienen como función principal, el cambio de estado del elastómero mediante altas temperaturas y producción de perfiles continuos de material, a diferencia del proceso de la empresa, el cual se desarrolla en frío.

Empresas a nivel mundial, como Precisión Polymer Engineering Limited localizada en Blackburn, Reino Unido, manejan procesos de producción de polímeros, uno de

sus principales productos son los empaques o O'rings, los cuales tienen un proceso de fabricación similar al del empaque de olla a presión. La empresa de Blackburn, maneja el procesamiento total de los polímeros, desde el tratamiento y mezcla de los elastómeros hasta la inspección y envasado de los productos.

En el proceso de producción en la empresa [21] Precisión Polymer Engineering Limited, primeramente se escoge el tipo de molde el cual dará el tamaño y la forma del empaque que es requerido, este molde cuenta de dos piezas conocidas como el macho y la hembra y son diseñados dentro de la empresa, posteriormente se realiza la preparación del material lo cual se realiza con un proceso de molienda, el material es sometido a aditivos e ingredientes los cuales le dan las características necesarias para el propósito al cual será utilizado finalmente como se ve en la Figura 22. Después, el material es cortado y preparado para la siguiente etapa de extrusión.

Figura 22.

Proceso de molienda.



Nota. Esta figura muestra el proceso de moliendo efectuado por el operario. **Tomado de:** Precision Polymer Engineering, "How O-rings are made at PPE", 2018. <https://www.youtube.com/watch?v=EOaWHzhzVxc&t=192s> [Online] (Accesed nov 12, 2020).

En la etapa de extrusión, se utiliza una extrusora convencional de usillo, esta es alimentada por un operario el cual controla el proceso, el material es extruido formando cordones del material como se ve en la Figura 23, estos cordones son almacenados para la posterior etapa de moldeo.

Figura 23.

Proceso de Extrusión.



Nota. Esta figura muestra el proceso de alimentación y Extrusión para fabricación de O-rings. **Tomado de:** Precision Polymer Engineering, "How O-rings are made at PPE", 2018. <https://www.youtube.com/watch?v=EOaWHzhzVxc&t=192s> [Online] (Accesed nov 12, 2020).

En la última etapa, los cordones del material son ubicados dentro del molde elegido previamente para su posterior vulcanizado. El producto pasa finalmente a una etapa de curado, después es inspeccionado por el personal de la empresa y finalmente embalado para su distribución.

Los métodos más utilizados por empresas nacionales e internacionales de alta producción de productos en silicona (Caucho de olla a presión, bases de licuadoras, etc.) son la inyección y el moldeo por transferencia, pero para empresas de baja producción, la implementación de estos métodos aumentaría el valor del producto, por esta razón en la actualidad las empresas optan por diseñar sus propios prototipos funcionales basándose en extrusoras de pistón de la industria, a lo cual, se requiere diseñar un dispositivo que se adapte a las maquinas con las que cuenta la empresa para el proceso y a su vez, que permitan la optimización en el proceso de abastecimiento del material, optimización en la producción de cordones de silicona y corte automático de las dos longitudes necesarias para el proceso de moldeo por compresión.

4. DISEÑO METODOLÓGICO

4.1 Tipo de trabajo a realizar

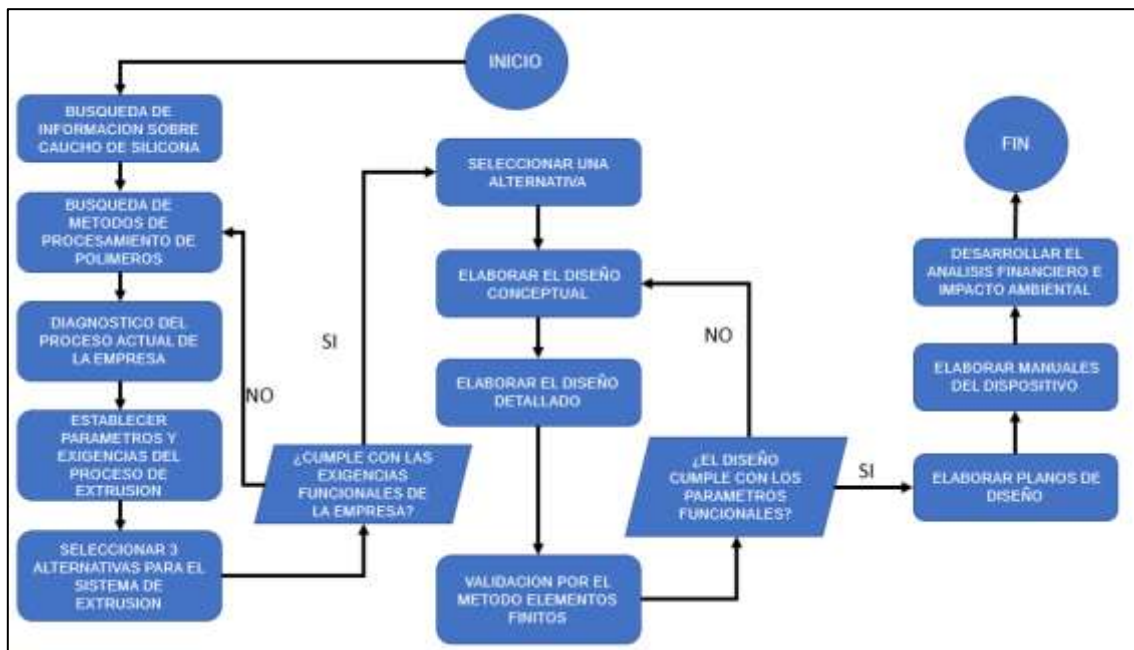
Para el diseño del dispositivo automático de extrusión de perfiles en silicona se realizará un trabajo de tipo evaluativo y aplicativo con el fin de aumentar la producción de cordones de silicona por carga de material, controlar las tres diferentes longitudes del cordón mediante un sistema de corte automático para disminuir el desperdicio de material, mejorar la calidad del producto final y disminuir el riesgo al operario.

4.2 Diagrama de flujo

El diseño metodológico se basa en el siguiente diagrama de flujo:

Figura 24.

Diagrama de flujo



Nota. La figura representa el diagrama de flujo para este proyecto.

El diagrama de flujo anterior describe el desarrollo del proyecto, en el cual primeramente será necesario conocer las propiedades y características del material, además, se debe analizar los métodos de procesamiento de polímeros como lo son la extrusión, inyección o moldeo por transferencia.

Para el adelanto del proyecto se necesitará realizar un diagnóstico del proceso de extrusión actual en la empresa, comparándola con las tecnologías disponibles de extrusión en la industria, de esta manera, permitiendo establecer los parámetros básicos para el diseño del dispositivo automático y las exigencias funcionales. A

continuación, se plantearán alternativas funcionales las cuales cumplan con los requerimientos de la empresa en cuanto a la adaptación del cilindro hidráulico y el espacio requerido en la empresa, permitiendo posteriormente seleccionar una alternativa que permita el desarrollo del diseño conceptual.

Se realizará el diseño detallado del dispositivo automático simulando mediante un método de elementos finitos (MEF) con software como NX, SOLID EDGE, AUTOCAD, entre otros, donde se obtendrán los datos que serán validados posteriormente. De igual manera se elaborarán planos de fabricación, montaje, ensamble y ubicación en la planta, teniendo en cuenta los manuales de operación, mantenimiento y seguridad industrial de sistemas hidráulicos y neumáticos.

Finalmente se evaluará la viabilidad financiera y el impacto ambiental del proyecto.

4.3 Cronograma de actividades

Para el desarrollo del proyecto, será necesario definir el cronograma de actividades, las cuales serán separadas por fases, esto permitirá tener un orden lógico para la correcta ejecución del proyecto, estas fases serán descritas en el siguiente cuadro:

Figura 25.

Cronograma de actividades.

PROYECTO	FECHA INICIO	DURACION DIAS	FECHA FIN
ESTRUCTURA			
OBJETIVO 1	25/01/2021	26	20/02/2021
OBJETIVO 2	21/02/2021	18	11/03/2021
OBJETIVO 3	12/03/2021	47	28/04/2021
OBJETIVO 4	29/04/2021	11	10/05/2021
OBJETIVO 5	11/05/2021	7	18/05/2021
CONCLUSIONES	19/05/2021	2	21/05/2021
RECOMENDACIONES	21/05/2021	1	22/05/2021
TOTAL PROYECTO	15/01/2021	127	22/05/2021

Nota. La figura representa el cronograma de actividades propuesto para este proyecto.

5. ANALISIS DE RESULTADOS

5.1 Diagnóstico del proceso actual de extrusión de la empresa Naliet SAS.

5.1.1 Generalidades de la empresa

La empresa Nacional de Licuadoras Naliet S.A.S, fue fundada en el año de 1988 por Eduardo Torres Patiño, con la intención de fabricar y suministrar productos e insumos relacionados con electrodomésticos, compitiendo y manteniéndose en el mercado por más de 30 años, apoyándose principalmente del conocimiento técnico de su talento humano fortaleciéndose día a día, pensando siempre en el cumplimiento de las necesidades del cliente. Actualmente la empresa está ubicada en la ciudad de Bogotá donde opera la planta de producción y el centro de distribución.

5.1.1.i Misión. Somos reconocidos por ser una organización fabricante de partes de electrodomésticos, buscando preservar la vida útil de los mismos mediante productos de alto rendimiento que satisfaga siempre las necesidades del cliente. Así mismo, NALIET S.A.S tiene como objetivo el crecimiento sostenible de la empresa y desarrollo profesional de sus colaboradores.

5.1.1.ii Visión. La empresa NALIET S.A.S se visualiza para el 2025 ser una empresa reconocida en el mercado nacional por el buen rendimiento de sus productos y por ser el mayor distribuidor a nivel nacional, contando con personal calificado para consolidarnos como ejemplo de éxito y rentabilidad en el sector de electrodomésticos.

5.1.1.iii Procesos. En la planta de producción de la empresa, se realizan varios procesos orientados a la fabricación de productos e insumos para electrodomésticos, además, se producen repuestos para diferentes referencias de licuadoras y ollas a presión, uno de los procesos es el de extrusión y vulcanizado de caucho de silicona para la fabricación del empaque para la olla a presión, el proceso de extrusión será en el cual se enfocará este proyecto. Este proceso es utilizado para 3 diferentes referencias de empaques para olla a presión diferenciadas por sus diámetro y peso.

5.1.2 Diagnóstico de la situación actual

La empresa nacional de licuadoras NALIET S.A.S se especializa en la fabricación de repuestos y accesorios para productos del hogar, principalmente en electrodomésticos y elementos de cocina, para esto, la empresa realiza procesos de mecanizado, inyección, extrusión, moldeado, troquelado, fresado, torneado, erosionado, vulcanizado entre otros procesos en la industria metalmecánica y de polímeros.

El proceso de extrusión de perfiles en caucho de silicona se desarrolla de forma poco apropiada debido que en su mayoría es manual, es decir, un operario debe acompañar en todo momento el material asegurándose de que no sufra ningún tipo de daño, desde la alimentación de la cámara de carga del material, la extrusión, la salida del material, el corte para darle la longitud necesaria y la posterior ubicación y almacenamiento de los perfiles o cordones; esto trae como consecuencias excesivas demoras en el proceso, producto no conforme lleno de vacíos de aire y desperdicio de material generando sobre costos, además de riesgos para el operario.

5.1.2.i Importancia del proceso. Dentro de las ventajas del proceso de extrusión con pistón esta la gran cantidad de productos que se pueden desarrollar partiendo de su tamaño y versatilidad de perfiles que se pueden fabricar, este es un proceso que puede desarrollarse a temperatura ambiente, como lo requiere el proceso en la empresa, además de su bajo costo de operación en la fabricación comparado con procesos inyección o procesos en extrusoras de husillo a altas temperaturas, aunque para que este proceso sea efectuado correctamente, está atado directamente a las propiedades del material ya que este debe tener características específicas de los termoplásticos, debe ser fácil de cambiar su geometría a bajas temperaturas, alta flexibilidad y resistencia mecánica entre otras.

Este método de extrusión es muy utilizado en la fabricación de elementos de agarre como mangos, varillas, revestimientos de barras o alambres, tubos, bloques, laminas y perfiles para su posterior fabricación de empaques para automóviles, componentes de computadoras de alta precisión, elementos de medicina, elementos de hogar y electrodomésticos como ollas a presión.

5.1.2.ii Procesos paso a paso. El proceso inicia con la llegada del material, lo cual se encarga de suministrarla un proveedor externo, además, el proveedor es el encargado de preparar el material y darle la geometría cilíndrica correspondiente para el inicio del proceso como se ve en la figura 26, un operario de la empresa se encarga de ubicar el material en un sitio donde no está expuesto a luz solar o humedad.

Figura 26.

Geometría y ubicación del material.



Nota. La figura representa la geometría necesaria para el proceso de extrusión y la zona de almacenamiento.

Después de esto, el operario prepara la cámara de alimentación para la correspondiente carga, el operario debe asegurarse que el pistón se encuentre totalmente en su posición inicial para posteriormente, cambiar la posición la cámara de alimentación de horizontal a vertical, como se ve en la figura 27.

Figura 27.

Cambio de posición cámara de alimentación.



Nota. La figura representa el cambio de posición del cilindro de carga de horizontal a vertical.

El proceso de extrusión del material da inicio cuando el operario posiciona horizontalmente de nuevo la cámara de alimentación ya llena de material, y procede a accionar el pistón presionando el material, este es extruido gracias a la boquilla con el perfil previamente establecido. Después de esto, el cordón extruido es arrastrado por la banda transportadora como se ve en la figura 28, el operario debe acompañar en todo momento el cordón para evitar que este se desvíe de la guía de la banda, y posteriormente es cortado manualmente por el operario al alcanzar la longitud deseada.

Figura 28.

Avance del cordón extruido.



Nota. La figura representa el avance del cordón de caucho de silicona en 4 posiciones diferentes, describiendo la longitud necesaria para el proceso.

Después de cortar el cordón de material extruido, el operario procede a ubicarlo cuidadosamente sobre una mesa de trabajo, el operario debe asegurarse que la mesa se encuentre totalmente limpia ya que el material en este estado se puede contaminar fácilmente, de igual manera, asegurarse que los cordones no se toquen uno con otro como se ve en la figura 29, debido a su estado viscoelástico-plástico, estos se pegarían fácilmente dañando el cordón extruido.

Figura 29.

Ubicación de los cordones extruidos.



Nota. La figura representa la zona de almacenamiento que implemento la empresa NALIET S.A.S para los cordones de silicona.

Finalmente, el operario debe transportar al área de la prensa hidráulica los cordones extruidos levantado la superficie de la mesa de trabajo para realizar el proceso de vulcanizado que le da el acabado final al producto empaque de olla para presión.

5.1.3 Comparación del proceso de la empresa con la industria

Para realizar una correcta comparación, se tomará como referencia industrial la empresa Precisión Polymer Engineering Limited descrita anteriormente [21], la cual manera un proceso similar al adoptado por la empresa Nacional de Licuadoras Naliet SAS, para lo cual, será necesario realizar un cuadro comparativo teniendo en cuenta los siguientes parámetros:

- ✓ Material.
- ✓ Preparación del material.
- ✓ Máquinas y elementos.
- ✓ Proceso de extrusión.

Tabla 4.*Cuadro comparativo.*

Parámetro	Nacional de Licuadoras Naliet SAS	Precisión Polymer Engineering Ltd.
Material	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Caucho de Silicona propósitos generales. ✓ Referencia ZY-880. ✓ Color transparente ✓ Buena flexibilidad. ✓ Buenas Propiedades mecánicas. ✓ Temperatura después de curado 200°C. ✓ Cumple FDA y ROHS. 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Caucho de silicona de uso general. ✓ Referencia S80U. ✓ Color transparente. ✓ Buenas propiedades físicas y mecánicas. ✓ Temperatura después de curado 265°C ✓ Cumple FDA y UPS.
Preparación del material.	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Proceso de calandrado agregando peróxido y pigmento azul. ✓ Forma de cilindro de dimensiones 12 cm de longitud y radio 4 cm para proceso de extrusión. ✓ Se puede modificar las dimensiones del material para proceso de extrusión. ✓ Acabado superficial pegajoso. 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Proceso de molienda realizando curado con platino. ✓ Forma de láminas para alimentar una tolva en el proceso de extrusión. ✓ Se puede modificar las dimensiones para el proceso de extrusión. ✓ Acabado superficial suave y con alto grado de pureza.

<p>Máquinas y elementos.</p>	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Cilindro hidráulico con pistón para empuje. ✓ Cámara de carga. ✓ Boquilla de extrusión de una salida. ✓ Banda transportadora. ✓ Tabla de almacenamiento de cordones. ✓ Los cordones no pueden tocarse uno a otro debido a que pueden pegarse. 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Extrusora convencional de usillo. ✓ Boquilla de extrusión de 3 o más salidas. ✓ Por las propiedades lisas del material, no es necesario almacenarlo y puede tener contacto con los otros cordones.
<p>Proceso de extrusión.</p>	<p>La extrusión es de tipo RAM a temperatura ambiente, dentro de la empresa se lleva a cabo con un cilindro hidráulico el cual ingresa en una cámara de carga de material y mediante el empuje del mismo, el material es extruido gracias a una boquilla diseñada en la empresa, permitiendo que el material cambie su geometría en cordones de silicona de 3 diferentes longitudes. El proceso en su totalidad es manual, desde la alimentación de la cámara de carga, el avance del pistón debe</p>	<p>La extrusión es de forma convencional, utilizar una extrusora de husillo en la cual el material es introducido de manera continua por una tolva que alimenta el barril, este calienta el material gracias a las resistencias instaladas. El material es extruido de manera continua y no es necesario detener la máquina para alimentarla. Debido a las propiedades lisas del material, este puede tener contacto con otros cordones, por este motivo, no es necesario un sistema de</p>

	accionarse con una palanca, el cordón debe ser acompañado por la banda transportadora y cortado manualmente.	arrastre que separe los cordones, es enrollado para su posterior almacenamiento.
--	--	--

Nota. La tabla representa una comparación entre el proceso de Extrusion adoptado por la empresa NALIET S.A.S., comparándola con el proceso de la multinacional Precisión Polymer Engineering Ltd.

5.1.4 Requerimientos básicos y exigencias funcionales

Dentro de los requerimientos básicos se deberá tener en cuenta las características del perfil extruido y que en el proceso no sufra ningún tipo de daño, partiendo de ciertos requerimientos propuestos por la empresa Naliet S.A.S.

5.1.4.i Cilindro hidráulico. El cilindro hidráulico con el que se trabajara se ubica de manera horizontal sobre una mesa de trabajo como se ve en la figura30, tiene una presión máxima de 200 bar y una velocidad de avance máxima de 0,5 m/s, lo cual es suficiente para poder realizar el proceso actualmente, un peso de 35,9 kg, las medidas del cilindro son; diámetro 11,5 cm, largo 82,5 cm, el vástago tiene un diámetro de 5 cm y una carrera de 50 cm. Las dimensiones que tiene la mesa de trabajo son; altura 90 cm, ancho 40 cm y largo 125 cm.

Figura 30.

Cilindro hidráulico y mesa de trabajo.



Nota. La figura representa la ubicación del cilindro hidráulico, se pueden observar los elementos de sujeción a la mesa de trabajo y la conexión hidráulica, esta será un requerimiento funcional.

5.1.4.ii Cámara de alimentación. El cilindro de carga se encuentra ubicado igualmente sobre la mesa de trabajo como se ve en la figura 31, este tiene un peso de 30 kilogramos y sus dimensiones son; diámetro externo 8 cm, diámetro interno 5 cm, largo 40 cm, además, tiene acoplado una boquilla con un agujero de 0.5 cm de diámetro. Este dispositivo debe asegurar que el material pueda entrar sin ningún tipo de resistencia, y de igual manera, que el vástago entre con libertad, pueda presionar el material y no sufra ninguna deformación.

Figura 31.

Ubicación cámara de alimentación.



Nota. La figura representa la cámara de alimentación diseñada por la empresa NALIET S.A.S, este elemento puede ser utilizado o rediseñado para la solución del proyecto.

5.1.4.iii Banda transportadora. Actualmente la empresa cuenta con una banda transportadora la cual cumple la función de sistema de arrastre, pero se requiere diseñar un dispositivo de arrastre como se ve en la figura 32, el cual garantice que el perfil extruido o cordón no sufra ninguna deformación, esta se debe posicionarse inmediatamente después a la cámara de alimentación a una altura de 90 cm, de igual manera, no puede superar el espacio libre dado por la empresa de 1.50 m y debe tener una longitud mínima igual al cordón de silicona extruido de mayor longitud.

Figura 32.

Banda transportadora

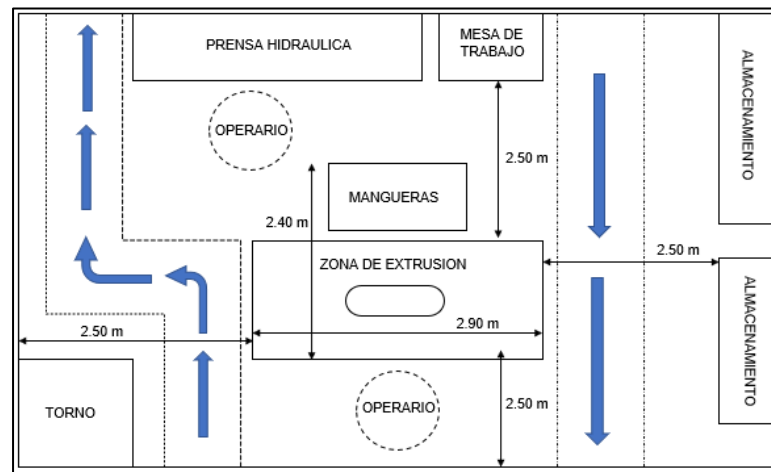


Nota. La figura representa el tipo de banda transportadora requerido por la empresa. **Tomado de:** Miletech Conveyor, “Light Duty Conveyor Belt”, 2017. Disponible: <https://www.miletechconveyor.com/product-tag/pvc-belt/> [En línea], (Accesed nov 12, 2020).

5.1.4.iv Dimensiones del área de trabajo. En el proceso actual, el espacio que ocupa la maquinaria para el proceso en una vista superior es de 2.90 metros de ancho y 2.4 metros de largo ubicada en la parte central de la planta de fabricación como se ve en la figura 33, por el lado izquierdo y derecho tiene dos corredores para desplazamiento de los operarios de 2 metros de ancho, en la parte inferior está ubicada la zona del operario, en la parte trasera se encuentra un área de almacenamiento de material y una prensa hidráulica de vulcanizado, además, se cuenta con un espacio libre de 2.5 metros en todas las direcciones. A nivel del suelo, el cilindro hidráulico, la cámara de alimentación y la banda transportadora están a una altura de 90 cm.

Figura 33.

Dimensiones del área de trabajo.



Nota. La figura representa las dimensiones del área de trabajo disponibles para el montaje de la máquina de este proyecto.

5.1.4.v Turnos. Actualmente, la empresa desarrolla 3 referencias diferentes de empaques para olla a presión de diferentes longitudes, en el proceso de extrusión, se deben fabricar 150 cordones de silicona diariamente, se tomaron los tiempos de proceso actual por carga de material como se ven en la tabla 5, considerando la longitud de cordón en centímetros, las unidades extruidas por carga de material, los tiempos se clasifican de la siguiente manera:

- ✓ T1: Tiempo de extrusión por avance del pistón.
- ✓ T2: Tiempo en el proceso de alimentación puesta a punto para el inicio del proceso.
- ✓ TP: Tiempo de proceso por carga de material.
- ✓ T total: Tiempo total en 150 cordones.

Tabla 5.

Tiempos de proceso de extrusión.

Ref.	Cantidad	Longitud (mm)	Unidades por carga	T 1 (min)	T 2 (min)	T P (min)	T total (min)
1	150	450	5	2	5	7	210
2	150	600	4	2.5	5	7.5	281
3	150	750	3	2	5	7	350

Nota. La tabla representa los tiempos de Extrusion en minutos y producción.

En la fabricación de 150 cordones de silicona, para el empaque de referencia 1 tiene un tiempo total de 210 minutos (3.5 horas), para la referencia 2 tiene un tiempo de 281 minutos (4.5 horas) y para la referencia 3 tiene un tiempo de 350 minutos (5.8 horas) de la jornada laboral.

La compañía requiere disminuir en una cuarta parte el tiempo de extrusión de cordones de silicona, para la referencia 1 de 210 minutos a 158 minutos, para la referencia 2 de 281 a 211 minutos y, por último, en la referencia 3 de 350 minutos a 263 minutos.

5.2 Diseño conceptual y planteamiento de alternativas

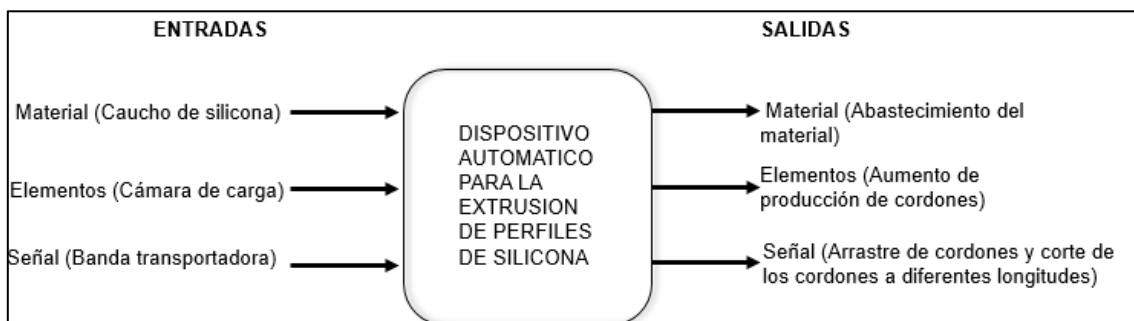
5.2.1 Diseño conceptual

En este capítulo se enseñará el diseño conceptual y las alternativas de diseño tomando como referencia el análisis de la información, parámetros y exigencias funcionales enseñadas anteriormente para el desarrollo y funcionamiento del dispositivo para la extrusión de perfiles en silicona.

Para la solución de algún problema complejo con restricciones considerables, como indica T. Ulrich [22], la manera más adecuada de abordar la situación para el desarrollo del diseño, es descomponer problema en partes más sencillas, denominadas subproblemas. En este proyecto, se desarrollará el diseño conceptual mediante el método de la caja negra, el cual describe el flujo del proceso en 2 momentos, antes y después del mecanismo, teniendo en cuenta 3 partes importantes, El material, la energía y las señales del diseño a desarrollar, para este proyecto, el esquema de caja negra se observa en la figura 34.

Figura 34.

Esquema caja negra, detalles generales del proceso.



Nota. La figura muestra el esquema de caja negra mediante detalles generales del proceso de Extrusion.

Es importante aclarar que los aspectos descritos en el esquema 1, hacen referencia a características más generales que definen un diseño (Material, elementos y señal), teniendo en cuenta una característica fundamental como lo es la preparación del proceso en cuanto a la cámara de carga. Estos aspectos, de igual manera se convertirán en sub funciones o sistemas, las cuales describirán los sistemas mecánicos que estarán en función del proceso tales como sistemas de arrastre (Banda transportadora), sistema de corte (Cuchilla neumática) y almacenamiento del material, creando tareas para cada sistema que derivarán en la solución de una tarea principal.

Continuando con la descripción realizada por T. Ulrich [22], se debe continuar el proceso realizando una descripción de los aspectos mencionados en el esquema de la caja negra, esto para tener un claro enfoque en el desarrollo de los objetivos propuestos para el correcto diseño del dispositivo.

5.2.1.i El primer aspecto (Material): El material es caucho de silicona, el cual, gracias a su preparación inicial, se pueden cambiar sus dimensiones para su posterior abastecimiento.

El proceso de extrusión se da de manera intermitente debido al avance y retroceso del cilindro hidráulico, el proceso se ve interrumpido por el abastecimiento del material cada cierto tiempo, al ser en su totalidad manual, el operario el cual debe realizar un proceso bastante riesgoso mencionado anteriormente, al ser un proceso el cual adopto la empresa, esta cámara de carga solo recibe una cantidad determinada de material. De este aspecto deriva el primer sub sistema: el sistema de abastecimiento, el cual, se debe optar por ser de manera continua para que el proceso de extrusión no se vea interrumpido.

5.2.1.ii El segundo aspecto (Elementos): Hace referencia a los elementos que intervienen en el proceso de extrusión del material, principalmente en la cámara de carga, elemento fundamental en el proceso actual ya que cumple la función de almacenar el material, además, está diseñado con una sola boquilla de salida, una cámara interior cilíndrica donde es abastecido el material y un hueco de entrada correspondiente al diámetro del embolo del cilindro hidráulico lo cual restringe en gran parte el aumento perfiles de silicona extruidos, además al no ser un proceso continuo, se generan burbujas de aire en el cordón de silicona, generando que el producto final

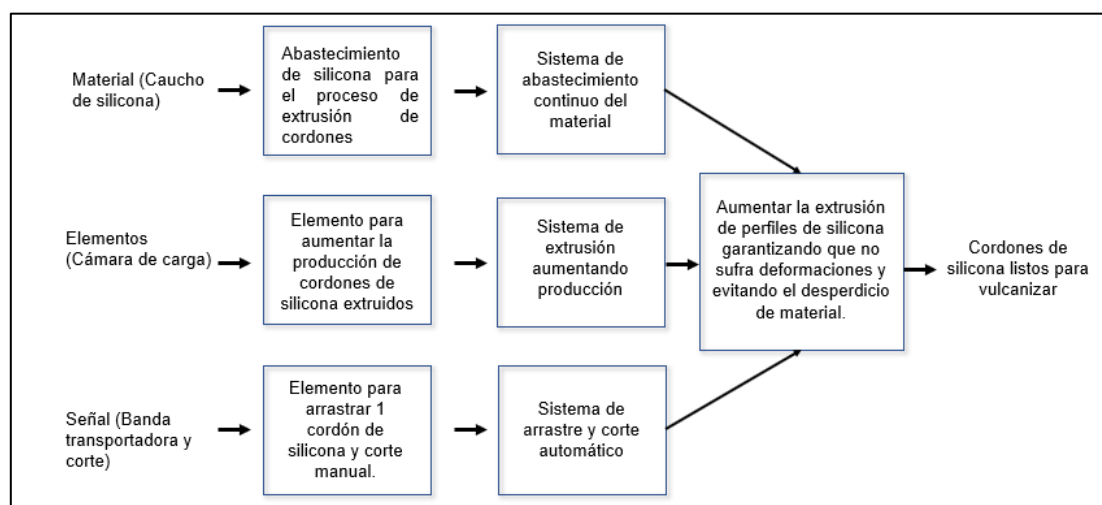
salga defectuoso, determinando así el segundo sub sistema: Sistema de proceso de extrusión el cual se encarga de aumentar la cantidad de cordones extruidos.

5.2.1.iii El tercer aspecto (Señal): Hace referencia a los elementos necesarios para que el cordón de silicona extruido no sufra ningún tipo de deformación al salir de la cámara de carga, principalmente, consta de una banda transportadora de seda diseñada por la empresa, la cual, con ayuda del operario, arrastra el cordón para que este no se quede atascado o por efectos de gravedad el operario no pueda regular la longitud necesaria para el proceso de vulcanizado, de lo anterior deriva el tercer sub sistema el cual consta de un sistema de arrastre y de corte, el cual reciba los perfiles de silicona suministrados por el segundo sub sistema de extrusión, arrastre los cordones de silicona sin que estos sufran ningún tipo de deformación, y posteriormente, al alcanzar la longitud necesaria sean cortados según las 3 referencias de empaques que maneja la empresa, esta señal deberá ser automática ya que será necesario que la velocidad de salida del cordón extruido sea igual a la de arrastre de la banda transportadora.

De lo descrito anteriormente, y siguiendo el proceso determinado por T. Ulrich, se obtiene el concepto de caja gris, la cual contiene los sub sistemas y sub funciones que componen de una manera más detallada la base de la caja negra como se ve en la figura 35.

Figura 35.

Caja Gris.



Nota. La figura muestra el esquema de caja negra mediante detalles generales del proceso de Extrusion.

Después de unir cada sub sistema y conectarlos con los resultados obtenidos, estos derivan en la función principal del dispositivo a diseñar, la cual es el aumento de perfiles de silicona extruidos garantizando la máxima homogeneidad posible en el cordón de silicona, mediante el sistema de arrastre que no sufran deformaciones y se evite el desperdicio de material gracias al sistema de corte automático para obtener como producto final los cordones de silicona listos para almacenar, para que posteriormente sean utilizados en la última etapa de vulcanizado.

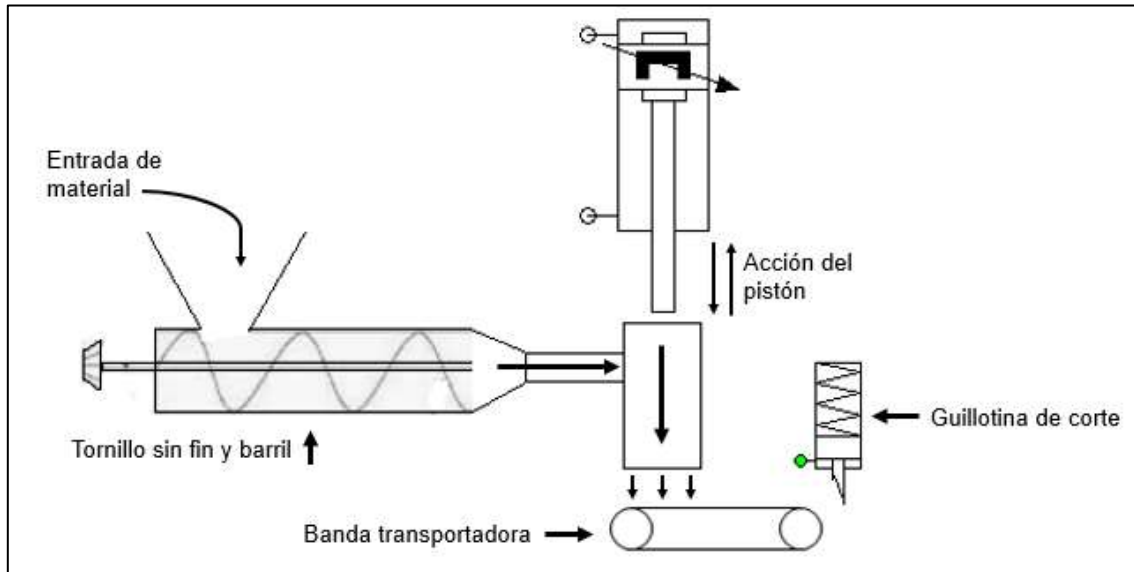
5.2.2 Planteamiento de alternativas

A partir del esquema 2 correspondiente a la caja gris, se obtendrán las alternativas de diseño, estas tendrán variaciones entre los sistemas obtenidos anteriormente: Sistema de abastecimiento, Sistema de extrusión, Sistema de Arrastre y corte, unificando de igual manera las exigencias funcionales propuestas por la empresa, las cuales recaen en el aprovechamiento de los elementos de proceso actuales, y la producción de cordones de silicona de manera continua.

5.2.2.i Alternativa 1: Se propone un dispositivo el cual su sistema de abastecimiento al proceso de extrusión sea de manera continua ayudado por un tornillo sin fin dentro de un barril y un motorreductor que se encargara de darle el giro, este transportara el material a una cámara de extrusión, la alimentación de este tornillo es de manera manual gracias a una tolva, considerando el abastecimiento del proceso como semi automático. El sistema de extrusión consta de una cámara de manera vertical con un orificio lateral donde será alimentada por el tornillo y cuando este alcance su máxima capacidad, se accionará un cilindro hidráulico el cual presionará el material hacia debajo de manera cíclica, permitiendo aumentar las boquillas de extrusión. Para el sistema de arrastre y corte, se propone una banda transportadora ubicada horizontalmente que reciba los cordones de silicona extruidos, y posterior a la banda transportadora, una guillotina la cual sea accionada automáticamente cuando el cordón alcance la longitud necesaria. El esquema se puede observar en la figura 36.

Figura 36.

Alternativa 1.



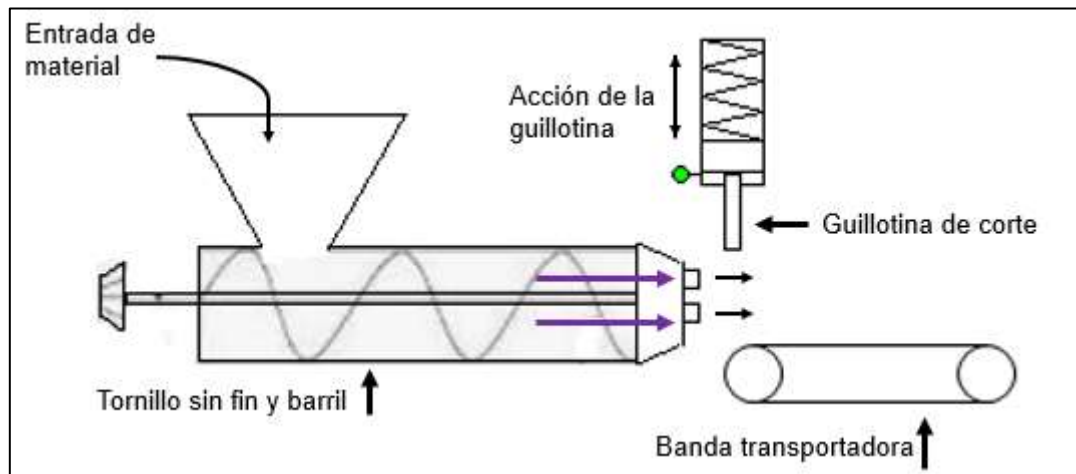
Nota. La figura muestra el esquema de la alternativa 1, donde se pueden observar los elementos que intervienen en el proceso.

- ✓ Sistema de abastecimiento: Tolva de carga, barril y tornillo sin fin. Semi automático, fuente eléctrica.
- ✓ Sistema de extrusión: Cámara de extrusión, Cilindro hidráulico. Automático, fuente hidráulica.
- ✓ Sistema de arrastre y corte: Banda transportadora y guillotina de corte. Automático, fuente eléctrica y neumática.

5.2.2.ii Alternativa 2: En esta alternativa se propone un diseño más simplificado, el cual unificaría el sistema de alimentación con el sistema de extrusión, consta de un barril y un tornillo sin fin, impulsado por un motorreductor el cual le dará el giro al tornillo, permitiendo el avance del material y en el extremo opuesto al barril, se diseñará una cámara que permita aumentar el número de boquillas que, en consecuencia, aumentará la producción de cordones de silicona. Posterior a la extrusión de perfiles, en el sistema de arrastre y corte, se propone una banda transportadora la cual, funcionará como arrastre para los cordones de silicona extruidos, el sistema de corte, estará ubicado entre la cámara de extrusión y la banda transportadora, la cual será accionada cuando el cordón alcance la longitud necesitada por la empresa, después un operario se encargará de recoger y almacenar los cordones en bandejas. Es esquema se ve en la figura 37.

Figura 37.

Alternativa 2.



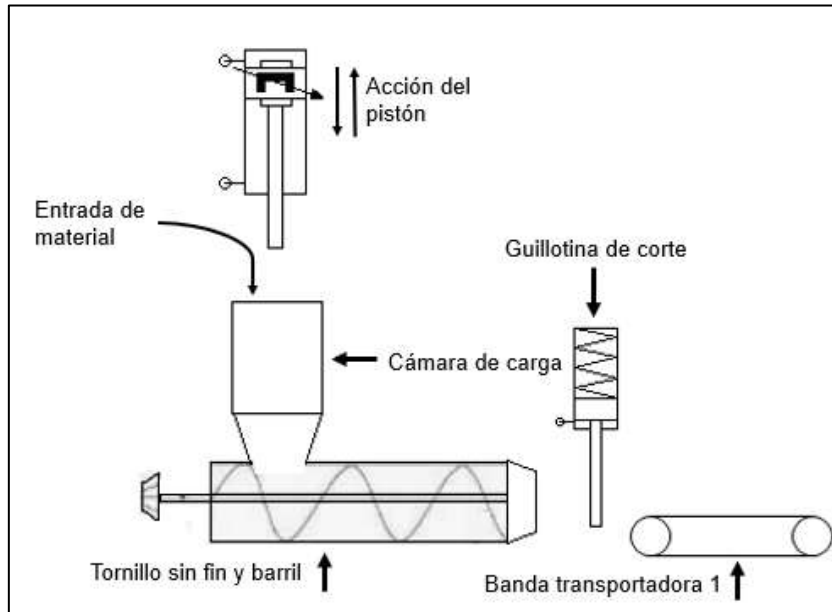
Nota. La figura muestra el esquema de la alternativa 2, donde se pueden observar los elementos que intervienen en el proceso.

- ✓ Sistema de abastecimiento y extrusión: Tolva, barril, tornillo sin fin, cámara de extrusión cónica. Automático, fuente eléctrica.
- ✓ Sistema de arrastre y corte: Guillotina antes de la banda transportadora. Automático, Fuente neumática y eléctrica.

5.2.2.iii Alternativa 3: Para esta alternativa (figura 38), se plantea un dispositivo en el cual, el sistema de abastecimiento constará de una cámara de alimentación en la que el material será suministrado por un operario que se encargará de accionar un cilindro hidráulico que presionará el material hacia un barril con un husillo de manera continua, el cual transportará el material hasta el lado opuesto, donde un molde con múltiples salidas y la presión ejercida por el husillo, se encargará de extruir el material en cordones de manera horizontal. Posteriormente, una banda transportadora 1 acompañará la salida de los cordones, cuando estos pasen una longitud, una guillotina se encargará de darle la longitud requerida por la empresa, posterior a esta, se ubica otra banda transportadora 2 en la que los cordones cortados serán encarrilados y separados, posteriormente almacenados en bandejas por el operario

Figura 38.

Alternativa 3.



Nota. La figura muestra el esquema de la alternativa 3, donde se pueden observar los elementos que intervienen en el proceso.

- ✓ Sistema de abastecimiento: Cilindro hidráulico, cámara de alimentación. Semiautomático, fuente hidráulica.
- ✓ Sistema de extrusión: Barril y tornillo sin fin. Automático, Fuente eléctrica.
- ✓ Sistema de arrastre y corte: Banda transportadora 1 y 2, Guillotina de corte. Automático, Fuente eléctrica y neumática.

5.2.3 Selección de la alternativa para el proyecto

Para la selección de la alternativa más adecuada para el cumplimiento de los objetivos propuestos en este proyecto, además de cumplir con las exigencias y requerimientos funcionales propuestos por la empresa, se diseñó una matriz de ponderación. A continuación, se definirán los criterios de evaluación.

5.2.3.i Criterios de evaluación. Con el fin de definir objetivamente el proyecto a desarrollar, se definieron los criterios que facilitaron la evaluación de las 3 alternativas de diseño para el cumplimiento del objetivo general y el más viable para la empresa:

- ✓ Facilidad operacional: De acuerdo con los sistemas analizados previamente, se determina que el sistema de arrastre y corte sea automático y continuo en las 3 alternativas, a lo cual, se tendrá en cuenta únicamente el Sistema de

abastecimiento y sistema de extrusión, se le dará un valor del 30% y se calificará de la siguiente manera:

Tabla 6.

Puntuación de facilidad operacional.

FACILIDAD OPERACIONAL	PUNTUACION
Alimentación: Semiautomática / Extrusión: Intermitente	1
Alimentación: Automática / Extrusión: Intermitente	2
Alimentación: Semiautomática / Extrusión: Continua	3
Alimentación: Automática / Extrusión: Continua	5

Nota. La tabla muestra la puntuación posible que obtiene el criterio debido principalmente a la fuente de alimentación.

- ✓ Costo: Este criterio de evaluación tiene un valor del 25%, en este se busca primeramente que el concepto costo-beneficio tenga un buen balance con respecto al presupuesto que la empresa ha destinado para el proyecto, y se puntuara con respecto a la tabla 7:

Tabla 7.

Puntuación de costos.

COSTOS	PUNTUACIÓN
Inversión baja	5
Inversión media	4
Inversión alta	3

Nota. La tabla muestra la puntuación posible que obtiene el criterio mediante el costo de fabricación.

- ✓ Mantenimiento: Para este criterio, se tendrá en cuenta el grado de dificultad de la operación de mantenimiento, por este motivo, se le da un valor del 20% a este criterio y se define de la siguiente manera:

Tabla 8.

Puntuación mantenimiento.

MANTENIMIENTO	PUNTUACIÓN
Fácil	5
Moderado	3

Complejo	1
----------	---

Nota. La tabla muestra la puntuación posible que obtiene el criterio mediante el proceso de mantenimiento.

- ✓ Requerimientos de potencia: Este criterio se le da una valoración del 10%, ya que se busca evaluar la eficiencia en el método de accionamiento y fuentes de energía que intervienen en el proceso de extrusión, se puntuara según la siguiente tabla:

Tabla 9.

Puntuación requerimientos de potencia.

REQUERIMIENTO DE POTENCIA	PUNTUACIÓN
Hidráulica / Eléctrica / Neumática	2
Hidráulica / Neumática	3
Neumática/ Eléctrica	4
Hidráulica / Eléctrica	5

Nota. La tabla muestra la puntuación posible que obtiene el criterio mediante el proceso de mantenimiento.

- ✓ Rendimiento: Este criterio tendrá un valor de 15% debido a la importancia que tendrá el aumento de producción en el desarrollo del proyecto, si la alternativa aumenta la producción y disminuye el mal gasto de material.

5.2.5.ii Matriz de ponderación. Para completar la definición del proyecto, y utilizando los criterios mencionados anteriormente, se realizará la matriz de ponderación designando las puntuaciones correspondientes a cada alternativa y determinando una puntuación final, como se ve en la tabla 10:

Tabla 10.*Matriz de ponderación*

CRITERIOS DE EVALUACION		Alternativa 1			Alternativa 2			Alternativa 3		
Facilidad operacional	30%	Alimentación: Automática / Extrusión: intermitente	2	0,6	Alimentación: Semiautomática / Extrusión: Continua	3	0,9	Alimentación: Automática / Extrusión: Continua	5	1,5
Costos	25%	Inversión media	4	1	Inversión baja	5	1,25	Inversión media	4	1
Mantenimiento	20%	Complejo	1	0,2	Moderado	3	0,6	Moderado	3	0,6
Requerimientos de potencia	10%	Hidráulico/ Neumático/ Eléctrico	2	0,2	Neumático/ Eléctrico	4	0,4	Hidráulico/ Neumático/ Eléctrico.	2	0,2
Rendimiento	15%	Aumento de producción	5	0,75	Aumento de producción	5	0,75	Aumento de producción	5	0,75
Total	100%	Puntuación 1	2,75	Puntuación 2	3,9	Puntuación 3	4,1			

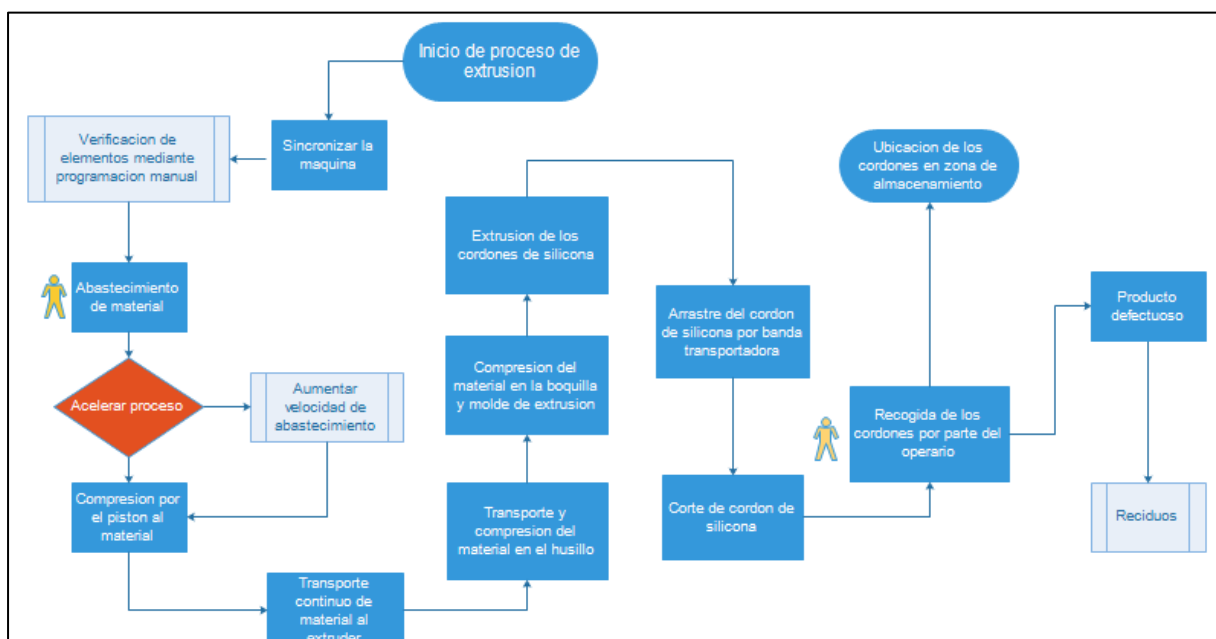
Nota. En la tabla se puede observar las puntuaciones para las 3 alternativas utilizando la matriz de ponderación.

Luego de asignar las correspondientes puntuaciones a las 3 diferentes alternativas, se determinó que la numero 3 es la opción que más se ajusta a los requerimientos de la empresa y del proyecto con una puntuación total de 4.1, esta alternativa genera que se cree un flujo de material continuo minimizando las burbujas de aire generadas en el proceso actual, además asegura la disminución del tiempo de abastecimiento ya que la alimentación del sistema será 1 vez al día. Continuando con la alternativa numero 2 con una puntuación de 3.9 y en último lugar la alternativa 1 con una puntuación de 2.75 según los criterios de evaluación asignados.

Por último, se plantea el diagrama de flujo en el proceso de extrusión, definiendo el proceso que debe seguir el operario y el orden de los elementos como se ve en la figura 39.

Figura 39

Diagrama de flujo para diseño.



Nota. En el diagrama se observa una secuencia que sigue desde el inicio del proceso, teniendo en cuenta funciones por parte del operador y el flujo que sigue el material a lo largo del proceso de extrusión.

5.3 DISEÑO DETALLADO

La finalidad de esta sección es realizar el diseño detallado de la alternativa seleccionada mediante la matriz de ponderación elaborada anteriormente, partiendo de los datos de entrada, los cuales serán los parámetros exigidos por la empresa, posteriormente, se realizará el diseño de los 3 sub sistemas principales: Sistema de abastecimiento, sistema de extrusión, sistema de arrastre y corte.

5.3.1 Datos de entrada

Los datos de entrada que se tendrán en cuenta para el desarrollo del proyecto son proporcionados por la empresa Nacional de Licuadoras Naliet S.A.S, partiendo principalmente por el material suministrado.

La materia prima (Caucho de silicona) para el abastecimiento del proceso cuenta con las siguientes propiedades:

- ✓ Forma geométrica: Cilindro o barra.
- ✓ Dimensiones: Diámetro 2,5 cm, altura 10 cm.
- ✓ Peso: 75 gramos
- ✓ Densidad: $1.23 \frac{gr}{cm^3}$ (Ver anexo 1)

Una vez determinados los parámetros iniciales, se determina el flujo volumétrico necesario, utilizando las especificaciones de los cordones de silicona como se puede observar en la siguiente tabla

Tabla 11.

Tiempos de extrusión por cordón de silicona.

Referencia de cordón	Longitud (cm)	Masa (gr)	Tiempo de extrusión actual en 1 cordón (Seg)
1	45.0	15	25
2	60.0	25	30
3	75.0	35	40

Nota. En la tabla se observa los tiempos de extrusión en el proceso actual para cada referencia de cordón de silicona, detallando la longitud y la masa de cada uno.

Con base a los datos mostrados en la tabla, se selecciona el cordón de referencia 3 correspondiente al de mayor masa y mayor longitud para realizar el análisis del flujo volumétrico, utilizando la ecuación de flujo masico (1) mostrada a continuación:

$$\dot{m} = \frac{m}{t} \quad (1)$$

Donde:

- ✓ $m = 35$ gr; una de las consideraciones del proyecto es aumentar la cantidad de cordones extruidos, de esta manera se aumenta la cantidad de 1 a 2 cordones.
- ✓ Masa por 2 cordones = 70 gr
- ✓ $t = 40$ segundos

Y se reemplaza en la ecuación 1.

$$\dot{m} = \frac{m}{t} = 1,75 \frac{gr}{seg} \quad (1)$$

Una vez determinado el flujo masico de salida como parámetro real, se determina la velocidad de salida y los tiempos de producción los cuales permitirán el inicio del diseño de los siguientes sistemas. Para esto, mediante la ecuación de flujo masico en función de la densidad del material (2), se determina la velocidad (3) necesaria para la extrusión de los cordones de silicona.

$$\dot{m} = \rho * A * V \quad (2)$$

$$V = \frac{\dot{m}}{\rho * A} \quad (3)$$

Donde:

- ✓ $m = 1,75$ gr/seg
- ✓ Densidad (ρ) = 1.23 gr/cm³

Para el cálculo, es necesario determinar el área de sección transversal del cordón de silicona, para esto, se determina mediante el diámetro del cordón correspondiente a 5 mm y se reemplaza en la ecuación (4) correspondiente a el área de una circunferencia:

$$A = \pi r^2 \quad (4)$$

$$A = \pi * (0.25 \text{ cm}^2) = 0.1963 \text{ cm}^2 \quad (4)$$

Al determinar este valor, se reemplaza en la ecuación (3).

$$V = \frac{1,75 \frac{\text{gr}}{\text{seg}}}{1,23 \frac{\text{gr}}{\text{cm}^3} * 0.1963 \text{ cm}^2} = 7,2460 \frac{\text{cm}}{\text{Seg}} \quad (3)$$

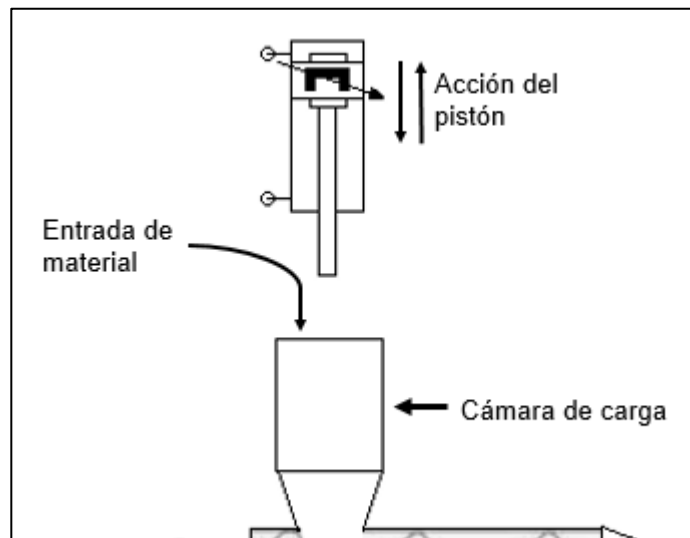
Obteniendo un valor de 7,2460 centímetros por segundo para el desarrollo del proyecto.

5.3.2 Diseño de sistema de abastecimiento

Para el diseño del sistema de abastecimiento, y siguiendo el esquema de la alternativa planteada, se realizará el diseño de una cámara de carga como se ve en la figura 40, la cual cumplirá la función de tolva de abastecimiento, esta cámara deberá tener una forma cilíndrica debido a que el material será presionado por el cilindro hidráulico permitiendo la compresión del material y el posterior transporte al sistema de extrusión.

Figura 40.

Esquema de sistema de abastecimiento.



Nota. La figura muestra los elementos principales del sistema de abastecimiento, definiendo el proceso que realizara el cilindro hidráulico.

5.3.2.i Cámara de carga. Teniendo en cuenta la producción actual de cordones de silicona extruidos, se estima un peso de 6 kg por día, utilizando como punto de partida el cordón de referencia número 3, el cual tiene un peso de 35 g, para una producción total de 170 cordones de silicona el cual es el máximo fabricado por la empresa actualmente. En función del cumplimiento de los objetivos propuestos en este

proyecto y para el diseño de la cámara de carga, se aumentará el abastecimiento de material en una proporción de 1.5, pasando de 6 kg de producción actual, a 9 kg y con base a este dato se realizará el cálculo de las dimensiones de la cámara de carga partiendo de la cantidad de barras de materia prima después del aumento.

- ✓ Aumento de materia prima: 9.000 gr (9kg)
- ✓ 1 barra de materia prima: 75 gr
- ✓ Cantidad de barras después del aumento: $9.000 \text{ gr} / 75 \text{ gr} = 120$ barras de materia prima.

Después de obtener la cantidad de barras de silicona que serán abastecidas en 1 día, se puede obtener el volumen neto de material que será abastecido para que la producción sea continua a partir de la fórmula de volumen con respecto a la densidad de material:

$$V = \frac{m}{\delta} \quad (5)$$

Donde:

- ✓ $m = 9.000 \text{ gr}$
- ✓ $\rho = 1,23 \text{ gr}/\text{cm}^3$

Y reemplazando:

$$V = \frac{9.000 \text{ gr}}{1,23 \text{ gr}/\text{cm}^3} = 6,317.07 \text{ cm}^3 \quad (5)$$

Determinando un valor de $6,317.07 \text{ cm}^3$ como volumen neto de materia prima. La cámara de carga al tener una geometría cilíndrica y partiendo de las dimensiones del cilindro hidráulico, se puede estimar el diámetro que puede tener la cámara de carga, a lo cual se eligió una medida comercial de diámetro 8" (Pulgadas).

Utilizando el diámetro elegido para el diseño de la cámara de carga, se calcula una altura de material neto utilizando la fórmula del volumen del cilindro (6) utilizada anteriormente, los valores de volumen neto y diámetro elegido:

$$V_{cilindro} = \pi * r^2 * h \quad (6)$$

$$h = \frac{V_{cilindro}}{\pi * r^2} \quad (7)$$

Donde:

- ✓ $V_{cilindro}: 5.732,48 \text{ cm}^3$
- ✓ Diámetro: 8 " = 20,32 cm

✓ Radio (r): 10,16 cm

Y reemplazando en la ecuación:

$$h = \frac{5.732,48 \text{ cm}^3}{\pi * (10,16 \text{ cm})^2} = 17,67 \text{ cm} \approx 18 \text{ cm} \quad (7)$$

Obteniendo una altura promedio de 18 cm.

Debido a que el material no caerá uniformemente se producirán vacíos de aire los cuales superarán el volumen neto hallado anteriormente, se duplicara la altura obtenida anteriormente con el fin de que se puedan abastecer las 120 barras de silicona correspondientes a los 9 kg de aumento de material, a lo cual, se escoge un tubo de referencia SCH 10 con costura de 8 pulgadas (para mayor detalle ver anexo 2), para la fabricación del cuerpo para el sistema de abastecimiento.

La cámara de carga deberá tener una entrada para el abastecimiento de la materia prima, este deberá tener una forma cilíndrica y se ubicará en la parte superior del cuerpo de la cámara, en el cual se puedan ingresar las barras de silicona, por seguridad, este orificio no debe tener un diámetro muy grande, de ser así el operario podría arriesgar su mano al ingresar el material, por este motivo, se selecciona un tubo de referencia SCH 10 con costura, el cual tiene un diámetro de 2,5 pulgadas o 6.35 cm (Para mayor detalle ver anexo 2). El tubo de entrada de material deberá tener un ángulo de inclinación con respecto a la cámara de carga el cual será de 45° para permitir que el material se deslice sin problemas.

En la parte superior del sistema de abastecimiento, deberá ir acoplado el cilindro hidráulico, el cual se encargará de comprimir la materia prima y que este avance al sistema de extrusión de manera continua, para este acople, se diseñaran unos flanches de sujeción. En la parte inferior del sistema de abastecimiento, y siguiendo el diseño de una tolva convencional, se diseña un cono el cual tiene una altura de 2,3 cm, un diámetro superior de 20,32 cm (8 in) el cual empalmara con el cilindro, un diámetro inferior o diámetro de salida de 2.54 cm (1 in), el cono es fabricado en lamina desarrollada, este diámetro de salida debe ser grande, debido a que la presión que ejerce el pistón al material no puede superar al permitido por el material de la cámara de carga, un ángulo de 15°, se da este valor de ángulo critico de vaciado debido al estado plástico del material, además que el avance del material esta dado por el avance del cilindro hidráulico, esto garantizara que no se quede material atascado en las esquinas del cono del sistema de carga.

De lo anterior se puede determinar una altura total desde la parte inferior del sistema de abastecimiento con respecto a la siguiente formula (8):

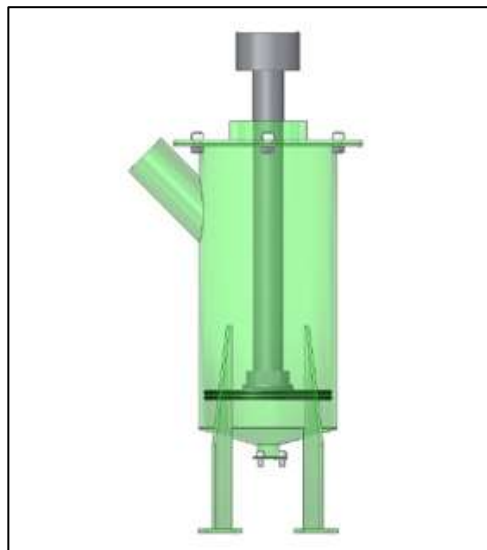
$$h_{total} = h_{cono} + h_{mat\ comp} + h_{mat\ abast} + h_{abastecimiento} \quad (8)$$

Donde:

- ✓ h material comprimido = 18 cm
- ✓ h material abastecido = 22 cm
- ✓ h tubo abastecimiento = 5 cm
- ✓ h del cono = 2,3 cm
- ✓ h total = 47,3 cm

Esta medida de altura de 47,3 cm es menor al de la carrera de avance del pistón del cilindro hidráulico la cual es de 50 cm. La cámara de carga se muestra en la Figura 41.

Figura 41.
Cámara de carga.



Nota. La figura muestra la representación de la cámara de carga definiendo 3 cilindros y 1 cono.

Por último, después del cono, se diseña una boquilla la cual permitirá el paso del material como se ve en la figura 41, esta boquilla tendrá una geometría cilíndrica, para su fabricación, se escoge un tubo de referencia SCH 10 de 1 pulgada, el cual en un extremo empalmará con el cono de la cámara de abastecimiento y en el extremo opuesto enviar el material al sistema de extrusión, se da esta medida para que no

supere el paso del tornillo de extrusión y permita que el material se aloje dentro de este.

5.3.2.ii Material: El material de la cámara de carga se define con base a los siguientes aspectos:

- ✓ Alta resistencia a la oxidación, debido a que dentro de la empresa existen procesos de inyección de PVC que emiten vapores oxidantes, esta oxidación puede afectar el material.
- ✓ Baja conductividad térmica, ya que el material abastecido estará a temperatura ambiente.
- ✓ Acero maleable, debe ser un acero fácil para la construcción de la cámara de carga y soldable.

Dados los parámetros para la selección del material, se decide construir el cono del sistema de abastecimiento en acero inoxidable 310 de 3 mm de espesor al igual que la boquilla de paso, debido a que puede utilizarse para trabajos de construcción simple y una soldabilidad muy buena, para más características del material ir al anexo 3.

El tipo de soldadura para la construcción de la cámara de carga es de tipo TIG, este tipo de soldadura se acopla al espesor de la lámina de 3 mm, debido a que la lámina no requiere ningún tipo de preparación en los bordes, se facilita la aplicación en este tipo de acero inoxidable delgado. Otra propiedad importante del tipo de soldadura es su acabado, ya que, este debe tener una condición muy buena para que no se genere ningún tipo de esfuerzo al avance del pistón hidráulico, además de su alta resistencia a la oxidación y baja salpicadura.

5.3.2.iii Cálculo de esfuerzos en la cámara de carga. El análisis de esfuerzos se realizará mediante el método de recipientes a presión bajo la norma ASME sección VII, Div I [23], como se ve a continuación:

El cálculo del recipiente a presión debe iniciar determinando el esfuerzo admisible (δ_{adm}) que resiste el acero inoxidable 310 (Ver anexo 3), partiendo del límite de fluencia (δ_{lim}) del mismo y eligiendo un factor de seguridad (n), y utilizando la siguiente ecuación:

$$\delta_{adm} = \frac{\delta_{lim}}{n} \quad (9)$$

Donde:

- ✓ Límite de fluencia = 235 MPa = 34,083.86 PSI
- ✓ Factor de seguridad = 1.5

Y reemplazando;

$$\delta_{adm} = \frac{34,083.86}{1.5} = 22,722.57 \text{ psi} \quad (9)$$

Determinando el esfuerzo admisible del material seleccionado para el cálculo de la presión interna de la cámara de carga, y se utiliza la siguiente formula (10) despejando la presión para obtener la ecuación (11):

$$e = \frac{p * r}{(S * E) - (0,6 * p)} \quad (10)$$

$$p = \frac{e * (S * E)}{r + (e * 0,6)} \quad (11)$$

Donde;

- ✓ Espesor del material = 3mm = 0,1181 in
- ✓ Esfuerzo admisible = 22,722.57 PSI
- ✓ Radio interior = 4 in – 0.1181 = 3.8819 in
- ✓ Eficiencia de la junta = 1.0

Y se reemplaza;

$$p = \frac{0,1181 \text{ in} * (22,722.57 \text{ psi} * 1.0)}{3.8819 \text{ in} + (0,1181 \text{ in} * 0,6)} = 678 \text{ psi} \quad (11)$$

Determinando la presión interna para el diseño para el sistema de abastecimiento. Posteriormente, se determina la presión que ejerce el material sobre la cámara de carga, para lo cual será necesario encontrar la fuerza que ejerce la materia prima con la siguiente formula (12):

$$F = m_{total} * g \quad (12)$$

Donde;

- ✓ m = 9 kg = 9,000 g
- ✓ g = 9.81 $\frac{m}{s^2}$

y se reemplaza;

$$F = 9 \text{ kg} * 9.81 \frac{m}{s^2} = 88,29 \text{ N} \quad (12)$$

Determinando la fuerza que ejerce el material dentro de la cámara de carga. Posteriormente se debe determinar el área transversal de la geometría de la cámara de carga la cual corresponde a un círculo, determinando el radio interno correspondiente al siguiente calculo:

$$r_{interno} = r_{externo} - \text{espesor de lamina}$$

Donde:

✓ R exterior = 4 in = 10.16 cm

✓ Espesor de la lámina = 0,3 cm

Y reemplazando;

$$r_{interno} = 10.16 \text{ cm} - 0.3 \text{ cm} = 9,86 \text{ cm} = 0.0986 \text{ m}$$

Este dato será necesario para determinar el área de la sección transversal la cual corresponde a la siguiente formula:

$$A = \pi r^2 \tag{4}$$

Y reemplazando;

$$A = \pi * (0.0986 \text{ m})^2 = 0,03054 \text{ m}^2 \tag{4}$$

Mediante la ecuación de presión, se halla la presión que ejercen las 120 barras de silicona dentro de la cámara de carga:

$$P = \frac{F}{A} \tag{13}$$

Y se reemplaza;

$$P = \frac{88.29 \text{ N}}{0.03054 \text{ m}^2} = 28909,67 \text{ Pa} \approx 4.5 \text{ psi} \tag{13}$$

De igual manera se determina la presión necesaria para que el material se comprima, para obtener este dato, debido a la poca información que se tiene del material, es necesario determinar los valores de presión mediante un experimento que permita determinar los valores en los cuales el cordón de silicona sale con un mejor acabado superficial en el proceso de extrusión actual. Según la ficha técnica del material caucho de silicona multipropósito, indica que tiene una relación de compresión de RC = 4 en procesos de moldeo por compresión o vulcanizado (Ver anexo 1), partiendo de este hecho, se tiene en cuenta que en el proceso de extrusión debe tener un índice de compresión alto, a lo cual, en el experimento realizado se tuvo en cuenta los siguientes parámetros:

Acabado superficial del material: La empresa actualmente tiene problemas con el acabado superficial del material ya que este en su mayoría al salir del proceso de extrusión sale con burbujas de aire y en ocasiones, al ser vulcanizado y una vez ha pasado el tiempo de curado, se tiende a ver grietas y en el peor de los casos, a romperse el cordón, para el experimento se toman 2 muestras por encima de la presión actual, de igual manera 2 muestras por debajo de la presión actual para determinar el acabado del material clasificándolo de la siguiente manera:

- ✓ Muy bueno: Sin burbujas de aire
- ✓ Bueno: Pocas burbujas de aire
- ✓ Regular: Son considerables las burbujas de aire
- ✓ Defectuoso: Lleno de burbujas de aire con espacios entre las mismas.

Presión de operación: Cilindro hidráulico entrega 200 Bar de presión máxima, la presión de operación en el proceso actual corresponde del 20 al 40% de apertura de la válvula lo cual corresponde a 300 psi a 580 psi, a partir de esto, se proponen 2 datos por abajo y dos por encima debido al acabado superficial del material, 5% (Presión mínima posible por el operario), 10%, 20% (Presión de operación), 40%, 50%.

Tiempo de extrusión: De igual manera, se tomarán los tiempos de extrusión para las diferentes presiones con una misma longitud correspondiente a 75 cm (cordón de referencia 3) lo cual permita obtener una referencia con mayor precisión de la velocidad de salida con respecto a la presión.

Obteniendo los siguientes resultados:

Tabla 12.

Resultados experimento presión de operación.

Presión de operación	Muestra	Acabado	Tiempo (Seg)
5% 10 bar	1	Regular	58.2
	2	Regular	58.1
	3	Regular	59.2
10% 20 bar	1	Bueno	50.5
	2	Muy Bueno	51
	3	Muy Bueno	50.2
20% 40 bar	1	Bueno	44
	2	Bueno	45
	3	Muy Bueno	45.5

40% 80 bar	1	Regular	40.2
	2	Defectuoso	41
	3	Bueno	39
50% 100 bar	1	Defectuoso	38
	2	Defectuoso	38
	3	Defectuoso	39

Nota. La tabla anterior demuestra los resultados del experimento realizado en las instalaciones de la empresa, donde se analizaron a diferentes presiones las características mencionadas anteriormente.

Al realizar un análisis de la tabla, se puede obtener como resultado principal que a la presión en la cual se obtuvo el mejor acabado para los cordones de silicona fue el 10 % de presión de operación, obteniendo un acabado muy bueno evitando en gran cantidad las burbujas de aire, de igual manera, los cordones extruidos entre el 40 y 50% fueron los que presentaron ruptura en el proceso de vulcanizado, a lo cual se concluye que la presión de compresión para obtener el mejor acabado superficial es del 10% correspondiente a 20 bar (290 psi), esta será la presión de operación en todo el sistema de abastecimiento.

Una vez se obtiene este resultado, es posible determinar cuál es la presión total que debe soportar la cámara de carga, sumando el valor correspondiente a la presión que incide el material y la presión del cilindro hidráulico de la siguiente manera:

$$P \text{ de operacion} = P \text{ material} + P \text{ cilindro}$$

$$P \text{ de operacion} = 4.5 \text{ psi} + 290 \text{ psi} = 294.5 \text{ psi.}$$

Una vez obtenido este resultado se determina que la presión que ejerce el material y el cilindro hidráulico no supera la presión que soporta el diseño de la cámara de carga.

$$294,5 \text{ psi} < 678 \text{ psi}$$

Debido a que el cilindro hidráulico suministrado por la empresa alcanza los 200 bar de presión, será necesario determinar el valor de la presión admisible de la boquilla de salida para la correcta operación del cilindro hidráulico, asegurándose de que la presión suministrada por el cilindro, supere la presión ejercida por el material y de igual manera, no supere la presión interna que soporta la cámara de abastecimiento (Cuerpo y boquilla).

Para lo anterior, considerando el estado y propiedades plásticas que toma el material, se puede asumir como un fluido de alta densidad, además, la geometría del

sistema relaciona 2 presiones y 2 áreas diferentes, a partir de estas consideraciones, se realiza el cálculo de presiones utilizando el principio de Pascal [24], el cual se desarrolla en la siguiente formula (14):

$$P_1 * A_1 = P_2 * A_2 \quad (14)$$

Donde;

- ✓ P1 = Presión interna de la cámara de carga.
- ✓ A1 = Área de sección transversal del cuerpo del sistema de abastecimiento.
- ✓ P2 = Presión de salida del material
- ✓ A2 = Área de sección transversal del cilindro o tubo de salida.

Para el cálculo del área A2, se utilizar la referencia de tubería SCH 10 de 1 pulgada, para mayor detalle ver anexo 2, determinando el radio interno de la siguiente manera:

$$r_{interno} = 33.40 \text{ mm} - (2.77 * 2) \text{ mm} = 27.86 \text{ mm} = 0.02786 \text{ m}$$

Y se determina el área mediante la sección transversal (4):

$$A = \pi * (0.02786 \text{ m})^2 = 2.4384 \times 10^{-3} \text{ m}^2 \quad (4)$$

Esta área corresponde a la sección trasversal de la boquilla de salida y se utiliza este valor para determinar el valor de presión de operación utilizando la ecuación de pascal, estos valores serán reemplazados en la ecuación del principio de pascal despejando el valor de P2:

$$P2 = \frac{P1 * A1}{A2} \quad (15)$$

Donde:

- ✓ P1 = 678 psi = 4'674,646.6 Pa
- ✓ A2 = 0,002484 m²
- ✓ A1= 0,03054 m²

Y se reemplaza:

$$P2 = \frac{(4'674,646.6 \text{ Pa} * 0,03054 \text{ m}^2)}{0,002484 \text{ m}^2} = 57'473,312.06 \text{ Pa} \quad (15)$$

$$\approx 8335.79 \text{ psi}$$

Determinando así el valor correspondiente a la presión de la boquilla de salida la cual tiene un valor elevado debido a las dimensiones de la misma, este valor, es mayor a la presión máxima de operación del cilindro hidráulico.

$$574 \text{ bar} > 200 \text{ bar}$$

5.3.3 Diseño de sistema de extrusión

El sistema de extrusión es el encargado de almacenar, transportar y extruir el material suministrado por el sistema de abastecimiento, siguiendo el esquema planteado en el capítulo anterior (figura 40), donde se debe diseñar el husillo el cual cumplirá la función de transportar, comprimir y dosificar el material dentro del cilindro o barril. Para lo anterior, y siguiendo la guía expuesta en el libro Transformación de Plásticos por Sauvgorodny VK [25], se necesita partir de las siguientes consideraciones:

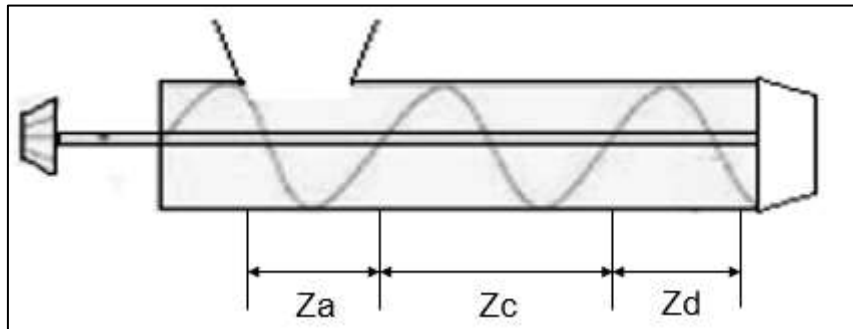
1. La extrusión será a temperatura ambiente, por ende, no será necesario implementar sistema de resistencias eléctricas que transmitan calor al material debido a su comportamiento Viscoelástico- Plástico, estado que permite que este fluya dentro del cilindro.
2. Al no presentarse un cambio de temperatura considerable en el proceso de extrusión, el eje del husillo debe ser cilíndrico en toda su longitud, definiendo las zonas de alimentación, compresión y dosificación.

5.3.3.i Husillo. El husillo es el encargado de transportar el material por el cilindro o barril, hasta el molde de extrusión. Los husillos utilizados para la extrusión de elastómeros constan de 3 zonas:

- ✓ **Zona de alimentación:** También conocida como zona de transporte, es la encargada de recibir la materia prima, en este proyecto, del sistema de abastecimiento, con ayuda del giro del tornillo y la profundidad del filete generando una fricción entre el interior del cilindro y la superficie del tornillo, permite desplazar el material hacia las siguientes zonas.
- ✓ **Zona de compresión:** Esta zona permite que los vacíos generados por aire en la zona de alimentación desaparezcan poco a poco, la masa se comprime a medida que va siendo abastecida creando un flujo de material dado por el perímetro del filete.
- ✓ **Zona de dosificación:** En esta zona, el material continúa comprimiéndose mejorando su eficiencia en la homogenización, además, permite determinar un flujo de masa a través de su dimensión. Las zonas se pueden observar en la siguiente figura 42.

Figura 42.

Zona de alimentación, compresión y dosificación.

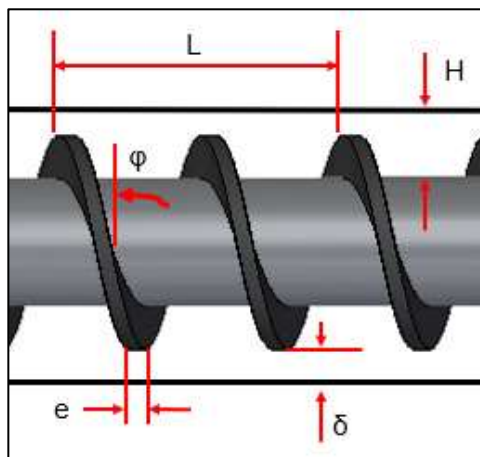


Nota. La figura muestra la distribución de las zonas a lo largo del husillo de extrusión.

Para este proyecto, será necesario definir el diseño del husillo la cual consta de la hélice y el eje. La hélice va montada sobre el eje del tornillo, y este es el encargado posteriormente de conectar el movimiento producido por la unidad motriz en uno de sus extremos. Para la selección del paso (t), se toma como referencia el diámetro de la boquilla de salida del sistema de abastecimiento, el cual corresponde a 1 in (25.4 mm), debido a que el paso debe ser mayor al diámetro de salida, se define un valor de 36 mm para el paso seleccionado por valores comerciales, este será el dato de entrada para el diseño del husillo.

Figura 43.

Parámetros del tornillo sin fin.



Nota. La figura muestra los parámetros que serán necesarios hallar para el diseño del husillo

Para determinar los parámetros geométricos del husillo como se ve en la figura 43, se analizará lo dicho por Sauvgorodny. V.K, autor del libro transformación de plásticos [25].

5.3.3.i.a. Diámetro efectivo. El diámetro efectivo se determina mediante la relación del paso y un coeficiente el cual tiene un valor mínimo y un máximo, para este proyecto, el paso debe ser mayor al diámetro, por este motivo el valor del coeficiente debe ser menor a 1 y estar dentro del rango expresado a continuación:

$$0,6D \leq t \leq 1,2D \quad (16)$$

Donde:

- ✓ $t = 36 \text{ mm}$
- ✓ coeficiente = 0,6

Al despejar la ecuación obtenemos el siguiente resultado:

$$t = 0,6D \quad (16)$$

5.3.3.i.b. Longitud de tornillo. La longitud efectiva del tornillo sin fin se calcula mediante la relación mencionada por el autor del libro transformación de plásticos, como se ve a continuación:

$$2 \leq \frac{L}{D} \leq 8 \quad (17)$$

Donde:

- ✓ $L =$ longitud del tornillo sin fin.
- ✓ $D =$ Diámetro efectivo del tornillo sin fin.

De lo anterior, debido a las condiciones de trabajo y el tipo de tornillo sin fin elegido, se elige un valor de 3,7 para determinar la longitud del mismo como se ve a continuación:

$$L = (3.7)D = (3.7 * 60) = 224 \text{ mm} \approx 225 \text{ mm} \quad (17)$$

Determinando la longitud del husillo. Esta longitud garantizara que el aumento de temperatura generado por la compresión del material, sea muy bajo, pero suficiente para mejorar la eficiencia de homogenización del material y permitiendo que el flujo sea continuo.

5.3.3.i.c. Espesor del filete. El espesor del filete (e) se determina mediante la ecuación descrita por el autor mencionado:

$$0,06D \leq e \leq 0.1D = (0.07) * 60 \text{ mm} = 4.29 \text{ mm} \approx 4.3 \text{ mm} \quad (18)$$

5.3.3.i.d. Profundidad de canal. Para determinar la profundidad del canal (h) se utiliza la siguiente formula:

$$0,1D \leq h \leq 0,2D = (0,12) 60 \text{ mm} = 7.02 \text{ mm} \quad (19)$$

En el diseño de husillos, existe un diferencial de profundidad que va desde la zona de alimentación, hasta la zona de dosificación, donde en la zona de alimentación es mayor a la zona de extrusión, en este caso, el tornillo mantiene las mismas dimensiones en toda su longitud ya que es necesario mantener la presión de operación para garantizar que el material no sufra deformaciones en el acabado final, como se pudo observar en el experimento en la sección 5.3.2, tabla 13, además de lo anterior mencionado, al generar un aumento de presión, se produce directamente un aumento de temperatura, el cual no debe ser considerable debido a las características termofijas del material ya que esto puede generar cambios en las propiedades del material para el proceso siguiente de vulcanizado, de esta manera, se mantiene el mismo diámetro en toda su longitud.

5.3.3.i.e. Angulo de hélice. El Angulo de hélice (Φ) se determina mediante la siguiente formula:

$$\varphi = \frac{\text{arc}(t)}{\pi * D} \quad (20)$$

Donde:

- ✓ T = 40 mm
- ✓ D = 60 mm

$$\varphi = \frac{\text{arc}(40\text{mm})}{\pi * 60 \text{ mm}} = 29^\circ \quad (20)$$

5.3.3.i.f. Huelgo radial. Esta distancia corresponde a la distancia desde la cresta de la hélice a el diámetro interno del cilindro nombrada como huelgo radial (δ), debe corresponder a un valor muy bajo ya que se deben evitar pérdidas por filtración, pero debe existir para evitar el rozamiento con el cilindro o barril del sistema de extrusión. Se utiliza la siguiente formula descrita por el autor:

$$\delta = (0,002 \text{ a } 0,01)D = (0,022) * 60 \text{ mm} = 1.36 \text{ mm} \quad (21)$$

5.3.3.i.g. Longitud de la zona de alimentación. Como se menciona en el apartado anterior, esta zona corresponde al transporte del material hacia la zona de compresión, y se calcula mediante el diámetro efectivo del tornillo de la siguiente manera:

$$D \leq L_a \leq 5D = (1) * 60 \text{ mm} = 60 \text{ mm} \quad (22)$$

Aproximando este valor a 60 mm de longitud en la zona de alimentación (L_a).

5.3.3.i.h. Longitud de la zona de compresión. En esta zona, el material empieza a comprimirse, permitiendo una compactación con mayor eficiencia debido a un ligero aumento de temperatura, la longitud se determina de la siguiente manera:

$$1D \leq L_c \leq 4D = (1.75) * 60 \text{ mm} = 79.1 \text{ mm} \approx 105 \text{ mm} \quad (23)$$

5.3.3.i.i. Longitud de la zona de dosificación. Esta zona garantiza la compactación del material y permite, se calcula de la siguiente manera:

$$L_D = (1 - 5)D = (1) * 60 \text{ mm} = 60 \text{ mm} \quad (24)$$

Esta longitud permite asegurar la cantidad necesaria de material para el proceso de extrusión.

5.3.3.i.j. Barril cilíndrico. El barril es la pieza donde va introducido el husillo de extrusión y funciona como apoyo para los elementos externos de abastecimiento, molde de extrusión y soporte del extruder, además es donde se presenta la compresión del material con respecto al avance del husillo, es necesario que el espacio entre el filete de la hélice del husillo y el radio interno del barril sea el mínimo posible.

Para este proyecto, se escoge un tubo de referencia SCH 40 de 2 ½ pulgadas (Anexo 2), asegurando la distancia determinada anteriormente de huelgo radial, una vez seleccionada la tubería a utilizar para la fabricación, se puede determinar el volumen de material alojado dentro del sistema de extrusión, para esto, se determina el volumen del barril, y se restan los volúmenes que ocupa que husillo de extrusión y la hélice de la siguiente manera:

$$A_{\text{barril}} = \pi r^2 \quad (4)$$

Donde:

- ✓ Radio interno = 31.35 mm

$$A_{barril} = \pi(31.35\text{mm})^2 = 3,088.62 \text{ mm}^2 \quad (4)$$

Posteriormente se determina el volumen utilizando la longitud del cilindro correspondiente a 230 mm en la fórmula (6).

$$V_{barril} = A_{barril} * L \quad (6)$$

$$V_{barril} = (3,088.62 \text{ mm}^2) * (230 \text{ mm}) = 710,382.63 \text{ mm}^3 \quad (6)$$

Luego, se determina el volumen del eje de transmisión mediante la fórmula de un cilindro (5):

$$V_{eje} = (\pi r^2) * L \quad (6)$$

Donde:

- ✓ Radio interno = 18 mm
- ✓ Longitud = 230 mm

$$V_{eje} = (\pi * (18\text{mm})^2) * (230 \text{ mm}) = 234,112.03 \text{ mm}^3 \quad (6)$$

Después, se determina el volumen que ocupa la hélice, para esto, se calcula el volumen asumiendo como 1 anillo, después este volumen se multiplica por la cantidad de pasos con un valor de 5 anillos.

$$V_{anillo} = (\pi r_{externo}^2 - \pi r_{interno}^2) * e \quad (25)$$

Donde:

- ✓ Radio externo = 30 mm
- ✓ Radio interno = 18 mm
- ✓ Espesor = 4.3 mm

$$\begin{aligned} V_{anillo} &= (\pi * (30 \text{ mm})^2 - \pi * (18 \text{ mm})^2) * 4.3 \text{ mm} \\ &= 7,781.11 \text{ mm}^3 \end{aligned} \quad (25)$$

Al multiplicar por la cantidad de pasos que tiene el husillo, se determina el volumen total que ocupa la hélice de la siguiente manera:

$$V_{helice} = 7,781.11 \text{ mm}^3 * 5 = 38,905.57 \text{ mm}^3$$

Por último, se resta el volumen de la hélice y el volumen del eje al volumen del barril, obteniendo el volumen de material que ocupa en el sistema de extrusión:

$$V_{material} = V_{barril} - V_{eje} - V_{helice}$$

$$V_{material} = (710,382.63 \text{ mm}^3) - (234,112.03 \text{ mm}^3) - (38,905.57 \text{ mm}^3) \\ = 437,365.025 \text{ mm}^3$$

Para saber el peso del material que se aloja dentro del extruder, se multiplica este valor por la densidad del material despejando la fórmula 5, obteniendo el siguiente resultado:

$$Peso = V_{material} * \rho \quad (26)$$

Donde:

- ✓ Densidad del material = 0.00123 g/mm³

Y se reemplaza:

$$Peso = (437,365.025 \text{ mm}^3) * \left(0.00123 \frac{\text{gr}}{\text{mm}^3}\right) = 537.95 \text{ gr} \quad (26)$$

Obteniendo la capacidad de material del sistema de extrusión.

Mediante la teoría de transportadores de tornillo sin fin tomada del libro Manual del Ingeniero Mecánico por Marks [26], para un transportador de 120 RPM, la capacidad de transporte depende de la densidad del material, de esta manera el porcentaje máximo de material ocupado en la sección transversal del husillo, corresponde a un rango del 38 al 45 % lo cual rectifica el autor ^(Cap 10.5 pag 10-54), de esta manera se determina la cantidad de material que puede transportar, el material hasta empezar la compresión en la boquilla, el cual corresponde al 38% de la capacidad máxima de material en el barril:

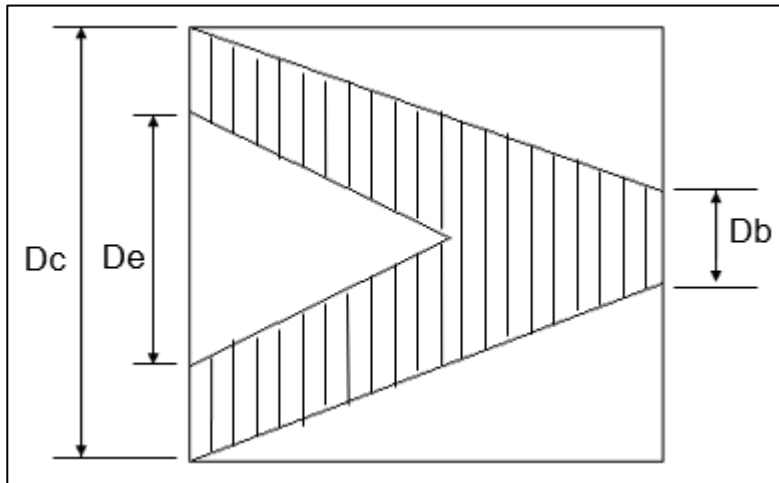
$$Masa = 537.95 \text{ gr} * 38 \% = 204.42 \text{ gr} \quad (26)$$

Determinando la capacidad de llenado del husillo, este material al ser transportado, se va alojando en el cambio de sección de la boquilla, permitiendo dosificar el material paulatinamente hasta que alcanza su capacidad máxima, a partir de este momento, el material fluye en el interior de la boquilla, garantizando la extrusión de los cordones de silicona.

5.3.3.i.k. Boquilla. La boquilla de paso es el último elemento del sistema de extrusión y es el encargado de finalizar la compresión del material recibido desde la zona de dosificación, para este elemento, será necesario determinar el volumen de material que puede alojarse dentro de esta sección como se ve en la figura 44, a lo cual se realiza una diferencia de volumen con respecto a la punta del husillo correspondiente al volumen de un cono y la geometría establecida desde el radio interno del barril, hasta la boquilla de salida del material hacia el molde de extrusión definiéndola como el tronco de un cono, correspondiente al área A3 determinada anteriormente.

Figura 44.

Esquema de volumen.



Nota. La figura muestra el área sombreada la cual corresponde al volumen de material que ocupara esta sección.

Para determinar este volumen se debe determinar el valor correspondiente al radio de la boquilla (rb), para esto, se determina el radio con el área mencionada anteriormente de la siguiente manera:

$$Ab = \pi r^2 \quad (4)$$

$$r = \sqrt{\frac{Ab}{\pi}} \quad (27)$$

Donde:

✓ $Ab = 39.2699 \text{ mm}^2$

Y se reemplaza:

$$rb = \sqrt{\frac{39.2699 \text{ mm}^2}{\pi}} = 3.5355 \text{ mm} \quad (27)$$

Posteriormente se determina el volumen del tronco del cono, utilizando la siguiente ecuación (28):

$$Vb = \frac{h\pi}{3} * (rc^2 + rb^2 * (rc * rb)) \quad (28)$$

Donde:

✓ $H = 16 \text{ mm}$

- ✓ $R_c = 31.35 \text{ mm}$
- ✓ $R_b = 3.5355 \text{ mm}$

Y se reemplaza:

$$V_b = \frac{(16\text{mm})\pi}{3} * ((31.35 \text{ mm})^2 + (3.5355)^2) * ((31.35\text{mm}) * (3.5355 \text{ mm})) \quad (28)$$

$$= 39,680.83 \text{ mm}^3 = 16.6995 \text{ cm}^3$$

Luego, se determina el volumen del cono generado en la punta del husillo, para efectos de diseño, se asume una altura de 5 mm y se utiliza el radio determinado en la sección anterior correspondiente a 18 mm, luego se reemplaza en la ecuación de volumen de un cono:

$$V_e = \frac{\pi r^3 h}{3} \quad (29)$$

$$V_e = \frac{\pi(18 \text{ mm})^3(5 \text{ mm})}{3} = 1,696.46 \text{ mm}^3 = 1.6964 \text{ cm}^3 \quad (29)$$

Al obtener este resultado, se resta el Volumen del eje al volumen de la boquilla obteniendo el siguiente resultado:

$$V_s = V_b - V_e$$

$$V_s = (16.6995 \text{ cm}^3) - (1.6964 \text{ cm}^3) = 15.0030 \text{ cm}^3$$

Por último, se determina la cantidad de material alojado en esta sección mediante la ecuación 26, utilizando la densidad del material correspondiente a 1,23 gr/cm³.

$$Peso = (15.0030 \text{ cm}^3) * \left(1.23 \frac{\text{gr}}{\text{cm}^3}\right) = 20.9 \text{ gr} \quad (29)$$

Una vez determinado este valor, podemos asumir la cantidad de material comprimido que va a llegar para el proceso de extrusión en el molde, el cual será la cantidad de material en el barril cilíndrico dividido por el número de pasos de la hélice, y a este valor se le suma la cantidad de material alojado en la boquilla, correspondiente al siguiente calculo:

$$Cant. \text{ de mat. por helice} = \frac{537.95 \text{ gr}}{5} + 20.9 \text{ gr} = 107.9 \text{ gr}$$

Determinando una cantidad de 107.33 gr por paso de hélice, a este valor, se le suma la cantidad de material alojado en la boquilla, obteniendo el siguiente resultado:

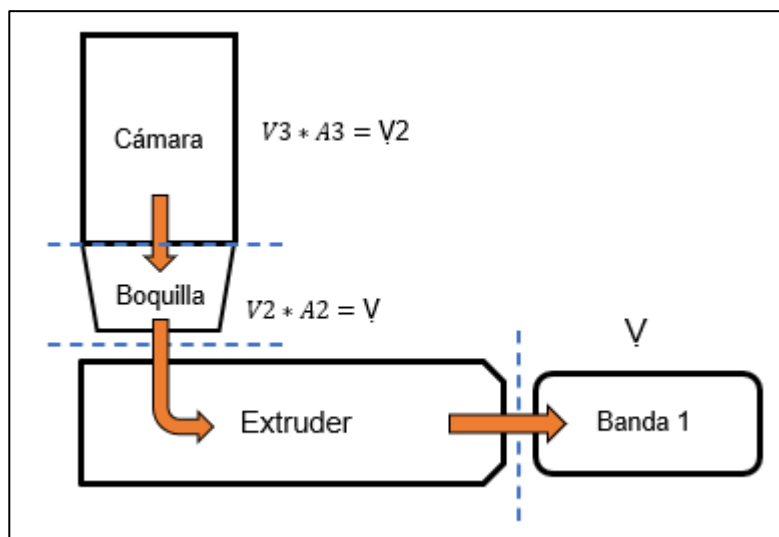
$$Cant. \text{ de mat. para extrusion} = 107.9 \text{ gr} + 21 \text{ gr} = 129 \text{ gr}$$

Al obtener este resultado, se garantiza que el extruder contara con el material suficiente para posterior extrusión de 2 cordones de silicona de la longitud más larga correspondiente a 70 gr (35 gr por cordón).

5.3.3.ii Balance de masa en el sistema. Para garantizar el flujo de material en todo el sistema, será necesario realizar un balance de masa el cual se desarrolla mediante el principio de continuidad partiendo del cálculo de las velocidades necesarias para la extrusión de los cordones de silicona, de esta manera, es necesario determinar la velocidad línea en el extruder lo cual permitirá determinar la velocidad de abastecimiento necesaria para que el flujo sea continuo, a lo cual, se plantea un esquema de caja negra donde se ven 4 puntos principales para el proceso; Cámara de carga, boquilla, extruder, Banda transportadora como se ve en la figura 45.

Figura 45.

Esquema para balance de masa



Nota. En la figura muestra los puntos elegidos para el balance de masa.

En el esquema se observa un punto V, correspondiente al flujo volumétrico de salida, este flujo fue determinado en la sección 5.3.1. partiendo de los siguientes parámetros.

- ✓ Flujo masico (m) = 1,75 gr/seg
- ✓ Velocidad de salida = 7,2460 cm/Seg
- ✓ Paso del husillo = 3.6 cm por 1 revolución.

Estos datos permiten el cálculo de las revoluciones necesarias en el husillo para garantizar la velocidad determinada anteriormente, y se realiza el cálculo mediante la siguiente ecuación:

$$N = \frac{\text{Velocidad salida}}{\text{Paso del husillo}} \quad (30)$$

$$N = \frac{7.2460 \text{ cm/Seg}}{3.6 \frac{\text{cm}}{\text{rev}}} = 2.0127 \frac{\text{Rad}}{\text{Seg}} \quad (30)$$

Al aplicar el factor de conversión obtenemos 120.76 RPM para el husillo de extrusión, este valor es necesario para obtener los resultados de potencia más adelante en el proyecto.

Una vez determinadas las revoluciones que debe girar el husillo, se determina la velocidad angular dentro del barril mediante el factor de conversión obteniendo un valor de 12.64 rad/seg, al determinar esta velocidad angular, se obtiene la velocidad línea en el interior del barril de la siguiente manera:

$$V = W * r \text{ barril} \quad (31)$$

Donde:

✓ $W = 12.64 \text{ Rad/seg}$

✓ $R = 3.1 \text{ cm}$

Y se reemplaza:

$$V1 = 12.64 \frac{\text{rad}}{\text{seg}} * 3.1 \text{ cm} = 39.18 \frac{\text{cm}}{\text{seg}} \quad (31)$$

Continuando con el balance de masa, mediante el flujo volumétrico obtenido anteriormente, se determinan los valores de a velocidad 2 correspondiente a la velocidad de alimentación al extruder, y se plantean las ecuaciones de continuidad en los puntos 2 y 3.

$$\dot{V} = \rho_1 * V1 * A1 = \rho_2 * V2 * A2 = \rho_3 * V3 * A3 \quad (32)$$

Debido a que se maneja el mismo material en todo el proceso, la densidad corresponde al mismo valor el cual se elimina de la ecuación, obteniendo la siguiente relación (32):

$$V1 * A1 = V2 * A2 = V3 * A3 \quad (33)$$

$$V2 = \frac{V1 * A1}{A2} \quad (33)$$

Donde:

- ✓ $V1 = 39.18 \text{ cm/Seg}$
- ✓ $A1 = 28,27 \text{ cm}^2$
- ✓ $A2 = 5,06 \text{ cm}^2$, con diámetro 2.54 cm, determinado mediante la ecuación (4).

Y se reemplaza:

$$V2 = \frac{39.18 \text{ cm/Seg} * 29.27 \text{ cm}^2}{5.06 \text{ cm}^2} = 21.88 \frac{\text{cm}}{\text{seg}} \quad (33)$$

Obteniendo el flujo masico de entrada al extruder. De igual manera, se plantea la ecuación de continuidad para la segunda sección, de este modo obtenemos la siguiente ecuación.

$$V2 * A2 = V3 * A3 \quad (34)$$

$$V3 = \frac{V2 * A2}{A3} \quad (34)$$

Donde:

- ✓ $V2 = 21.88 \frac{\text{cm}}{\text{seg}}$
- ✓ $A2 = 5,06 \text{ cm}^2$
- ✓ $A3 = 305.42 \text{ cm}^2$, con radio de 9,86 cm, mediante la ecuación (4)

Y se reemplaza:

$$V3 = \frac{21.88 \frac{\text{cm}}{\text{seg}} * 5,06 \text{ cm}^2}{305.42 \text{ cm}^2} = 0.36118 \frac{\text{cm}}{\text{seg}} \quad (34)$$

Al aplicar el factor de conversión se obtiene una velocidad de $3.6118 \frac{\text{mm}}{\text{seg}}$, Esta velocidad $V3$ corresponde a la velocidad de avance del cilindro hidráulico, determinando el balance de masa desde el proceso de abastecimiento hasta el proceso arrastre y corte. Del cálculo anterior, se obtiene la tabla 13 donde se definen los valores de flujo masico, áreas, velocidades en cada punto analizado:

Tabla 13.

Relación de área, velocidad y caudal.

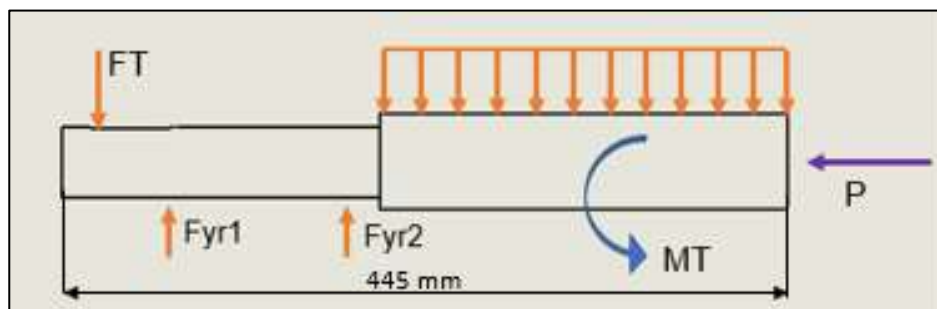
Punto	Área	Velocidad	Caudal
1 (Barril)	28,27 cm ²	39.18 $\frac{cm}{seg}$	1107.61 $\frac{cm^3}{seg}$
2 (Boquilla)	5,06 cm ²	21.88 $\frac{cm}{seg}$	110.71 $\frac{cm^3}{seg}$
3 (Tolva)	305.42 cm ²	3.6118 $\frac{mm}{seg}$	1107.35 $\frac{cm^3}{seg}$

Nota. En la tabla se puede observar los resultados en los 3 puntos seleccionados, relacionando área, velocidad y caudal respectivamente.

5.3.3.iii. Análisis de resistencia del husillo. Debido a que el husillo es un elemento que está conectado a un sistema de transmisión de potencia, será necesario someterlo a un análisis de esfuerzos combinados a torsión, flexión debido a su propio peso y cargas axiales originada por la presión en contra que genera el material al encontrar restricciones por el barril y el molde de extrusión, a lo cual, y para el cálculo de este caso, se analizará el tornillo como empotrado a un lado como se observa en la Figura 46 correspondiente al diagrama de cuerpo libre del husillo.

Figura 46.

Diagrama de cuerpo libre del husillo.



Nota. La figura muestra un diagrama de cuerpo libre, la sección izquierda corresponde al diámetro del eje, la derecha corresponde al diámetro del eje del husillo.

5.3.3.iv. Fuerza axial. Para el cálculo de esta carga, se considera que el flujo volumétrico correspondiente a la salida V3 (Figura 45) es igual a 0, permitiendo obtener la máxima presión ejercida por el material, logrando que el flujo de presión del material \mathcal{V}_P , sea igual al flujo de fricción generado por el husillo \mathcal{V}_F , expresado de la siguiente manera:

$$\mathcal{V}_3 = \mathcal{V}_F - \mathcal{V}_P \quad (35)$$

Al momento de tapar la boquilla de salida, el flujo V_3 es igual a 0, creando la igualdad necesaria de la siguiente forma:

$$\begin{aligned}V_3 &= 0 \\0 &= V_f - V_p \\V_f &= V_p\end{aligned}$$

Al encontrar esta igualdad, se relacionan las ecuaciones mencionadas por Sauvgorodny VK., en el libro Transformación de Plásticos [25] como se ve a continuación:

$$V_f = \frac{\pi^2 * D^2 * N * h * \text{sen}(\varphi) * \text{cos}(\varphi)}{2} \quad (36)$$

$$V_p = \frac{\pi * D * h^3 * P * \text{sen}^2(\varphi)}{12 * \mu * L_d} \quad (37)$$

Donde:

- ✓ $D = 60 \text{ mm}$
- ✓ $N = 120.76 \text{ RPM}$
- ✓ $h = 7 \text{ mm}$
- ✓ $\varphi = 29^\circ$

Y se reemplaza en (36):

$$\begin{aligned}V_f &= \frac{\pi^2 * (60 \text{ mm})^2 * (120.76 \text{ rpm}) * (7 \text{ mm}) * \text{sen}(29^\circ) * \text{cos}(29^\circ)}{2} \\&= 6.3677 \times 10^{-3} \frac{m^3}{\text{seg}}\end{aligned} \quad (36)$$

Determinando el flujo de fricción. De igual manera se determina el flujo de presión V_p utilizando la ecuación (37). En esta ecuación, el valor de (P) corresponde a presión total en la punta del tornillo, este valor será la incógnita, de este modo, el valor de V_p será en función de P, de la siguiente manera:

Donde:

- ✓ Viscosidad del material (μ) a temp. ambiente = $3700 \text{ CP} = 3.7 \text{ Pa*s} = 3.7 \frac{N*\text{seg}}{m^2}$
- ✓ Longitud de zona de dosificación (L_d) = 60 mm

Y se reemplaza:

$$\begin{aligned} V_p &= \frac{\pi * (0.060 \text{ m}) * (0.007 \text{ m})^3 * P * \text{sen}^2 (29^\circ)}{12 * \left(3.7 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}\right) * (0.060 \text{ m})} = \\ &= P * 5.7043 * 10^{-8} \frac{\text{m}^3}{\text{Kg} * \text{seg}} \end{aligned} \quad (37)$$

Para encontrar el valor correspondiente a la presión (P), se efectuar la relación entre las ecuaciones mencionadas donde:

$$V_f = V_p \quad (38)$$

Y se reemplaza:

$$6.3677 * 10^{-3} \frac{\text{m}^3}{\text{seg}} = P * 5.7043 * 10^{-8} \frac{\text{m}^3}{\text{Kg} * \text{seg}} \quad (38)$$

$$P = \frac{6.3677 * 10^{-3} \frac{\text{m}^3}{\text{seg}}}{5.7043 * 10^{-8} \frac{\text{m}^3}{\text{Kg} * \text{seg}}} = 111,578.94 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^2} \quad (38)$$

Determinando un valor de 11,578.94 kg/m² de presión en la punta del tornillo, con este valor, será posible determinar el valor de la fuerza axial que se ejerce sobre el husillo cuando se asume que las boquillas de salida están cerradas, determinando así, la fuerza máxima que se ejerce sobre el husillo, utilizando la ecuación de fuerza, de la siguiente manera:

$$F = P * A \quad (39)$$

Donde:

- ✓ A = Área transversal del husillo
- ✓ F = Fuerza máxima ejercida en la punta del husillo por el flujo.

Con:

$$A = \pi * r^2 \quad (4)$$

$$A = \pi * (30 \text{ mm})^2 = 2.8274 * 10^{-3} \text{ m}^2$$

Y se reemplaza en la ecuación de fuerza:

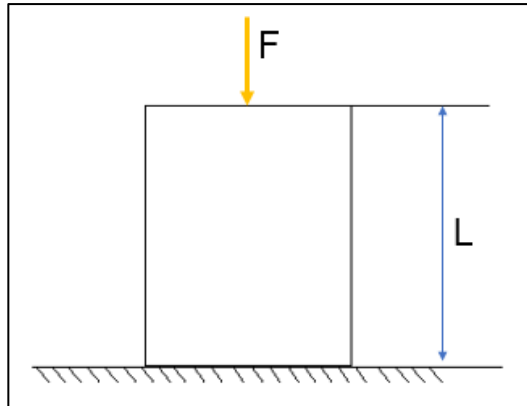
$$F = 111,578.94 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^2} * 2.8274 * 10^{-3} \text{ m}^2 = 314.65 \text{ Kg}_F = 3113.74 \text{ N} \quad (39)$$

Al determinar la fuerza real mediante el flujo de material, es necesario comprobar que esta fuerza no sea mayor a la fuerza admisible por el husillo, para anterior, se evaluara el husillo como una columna como se ve en la Figura 47, para hallar el

esfuerzo admisible soportado por el elemento, descartando una posible falla por cargas axiales y cumpliendo la relación $F_{real} < F_{adm}$.

Figura 47.

D.C.L del husillo como columna.



Nota. La figura muestra el cálculo de esbeltez del eje el cual debe asumirse como una columna

En la figura 47, podemos observar la fuerza F, la cual corresponde a la carga sobrepuesta, y la Longitud L, correspondiente a la longitud efectiva determinada en la sección anterior en el proyecto.

Según lo dicho en el libro Transformación de Plásticos [25], será necesario determinar la fuerza F, utilizando la siguiente ecuación (40):

$$F = \frac{C * \pi^2 * E * I}{L^2} \quad (40)$$

Donde:

- ✓ Constante de condición de externos (C)
- ✓ Módulo de elasticidad Acero AISI 1020 (E)
- ✓ Momento de inercia eje cilíndrico (I)

Con:

- ✓ C:

$$C = 25 * D$$

$$C = 25 * (60 \text{ mm}) = 1500 \text{ mm} = 1.5 \text{ m}$$

- ✓ I:

$$I = \frac{\pi * (60^4)}{64} \quad (41)$$

$$I = \frac{\pi * (0.060 \text{ m}^4)}{64} = 6.3617 \times 10^{-7} \text{ m}^4 \quad (41)$$

✓ $E = 2 \text{ GPa}$

Y se reemplaza en la ecuación:

$$F = \frac{(1.5 \text{ m}) * \pi^2 * (2 \times 10^9 \text{ Pa}) * (6.3617 \times 10^{-7} \text{ m}^4)}{(0.225 \text{ m})^2} = 372,073 \text{ N} = 372 \text{ kN} \quad (40)$$

Por último, se determina el esfuerzo admisible seleccionando un factor de seguridad para determinar si se cumple la relación planteada, de la siguiente manera:

$$F_{ad} = \frac{F}{F_s} \quad (42)$$

Donde:

✓ $F = 372,073 \text{ N}$

✓ $F_s = 4$

Y se reemplaza:

$$F_{ad} = \frac{372,421 \text{ N}}{4} = 93,018 \text{ N} \quad (42)$$

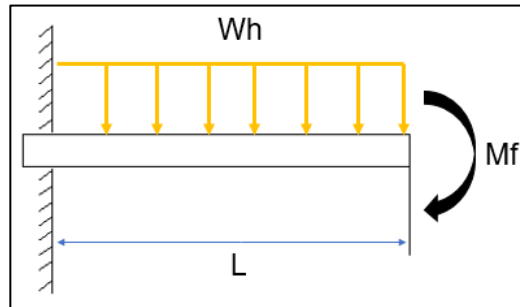
De lo anterior se puede concluir que la fuerza de la carga sobre puesta, no supera el esfuerzo admisible del elemento, por este motivo no se presentan fallas por cargas axiales cumpliendo la condición planteada:

$$3,113 \text{ N} < 93,018 \text{ N}$$

5.3.3.v. Cálculo de momento flector. Para el proyecto, será necesario determinar el valor del momento flector (Mf) causado principalmente por el peso del husillo, para esto se analiza el elemento como una viga empotrada en un extremo como se ve en la figura 48.

Figura 48.

D.C.L del momento flector en el husillo.



Nota. La figura muestra la posición de la carga distribuida con respecto a la longitud y el momento flector.

En la figura 48 se puede observar la carga la carga distribuida (W_f) correspondiente al peso del husillo por unidad de tiempo, el momento flector generado y la longitud efectiva del husillo. Para determinar el momento flector, se utilizará la ecuación propuesta por Sauvgorodny VK.[25] como se ve a continuación:

$$M_f = \frac{W_t * L^2}{2} \quad (43)$$

Donde:

- ✓ $W_h = \gamma * A$
- ✓ Densidad del acero AISI 1020 (γ) = $7860 \frac{kg}{m^3}$
- ✓ $A = 2.8274 \times 10^{-3} m^2$
- ✓ $L = 225 \text{ mm} = 0,225 \text{ m}$

Reemplazando en la ecuación:

$$M_f = \frac{(7860 \frac{Kg}{m^3} * 2.8274 \times 10^{-3} m^2) * (0.225 m)^2}{2} = 0.56 Kg_f * m \quad (43)$$
$$= 5.5113 N * m$$

Determinando el valor del momento flector. Para completar el análisis de esfuerzos, se debe determinar el valor del Momento torsor, para este cálculo, será necesario definir la potencia suministrada por el motor en el capítulo siguiente, después, se retomará el cálculo del momento torsor.

5.3.3.vi. Cálculo de potencia suministrada por el motor. Para calcular la potencia del motor, y siguiendo la guía propuesta en el libro Manual del Ingeniero Mecánico de Mark [26], se utilizará la teoría de análisis de potencia de un transportador de tornillo

sin fin, asumiendo el husillo como el elemento transportador en este tipo de sistemas a granel.

Según lo dicho anteriormente, se realiza una sumatoria de potencias de las zonas del husillo (Alimentación y dosificación), definidas en la siguiente ecuación:

$$P_M = P_A + P_C + P_D \quad (44)$$

Para la **potencia en la zona de alimentación**, se utiliza la ecuación propuesta por el autor [26], de la siguiente manera:

$$P_A = (ALN + QWLF) * 10^{-6} \quad (45)$$

Donde:

- ✓ A = Factor para tamaño del transportador.
- ✓ La = 0.006 m = 0.2381 ft
- ✓ N = 120 RPM
- ✓ Q = $110.71 \frac{cm^3}{seg} = 14.07 \frac{ft^3}{hr}$
- ✓ F = Factor por el material
- ✓ W = densidad del material = $1.23 \text{ gr/cm}^3 = 76.78 \frac{lb}{ft^3}$

Para determinar el factor de tamaño del transportador (A), será necesario extrapolar los valores del Factor A mostrada en la figura 49.

Figura 49.

Factor A.

Tabla 10.5.5 Factor A			
Se suponen cojinetes de bronce auto lubricados			
Diámetro del transportador Pulg	6	9	10
	mm	152	229
Factor A	54	96	114

Nota. La figura muestra los valores del factor A con respecto al diámetro. **Tomado de:** A. Eugene Marks, "Manual del Ingeniero Mecánico", Ed 9, Vol. 2, 01 Ene 1995.

Obteniendo un valor de A = 14.5.

El factor por el material F, se determina mediante el tipo de material, para este, se escoge utilizando el material que más se asemeja a el caucho de silicona con respecto a su densidad el cual es la arcilla, según el autor [26], la arcilla tiene un valor para el factor F igual a 2, este valor se obtiene mediante a grupos definidos según el tipo de

material, de esta manera, se utiliza este valor para determinar la potencia en la zona de alimentación, posteriormente se reemplaza en la ecuación (45).

$$P_A = \left((14.5) * (0.7381 \text{ ft}) * (120 \text{ RPM rpm}) + \left((14.07 \frac{\text{ft}^3}{\text{hr}}) * (76.78 \frac{\text{lb}}{\text{ft}^3}) * (0.7381 \text{ ft}) * (2) \right) \right) * 10^{-6} = 8.9713 \times 10^{-4} \text{ Hp} \quad (45)$$

A continuación, se determina la **Potencia de Compresión Pc**, debido a que el propósito del husillo es transportar y comprimir el material a temperatura ambiente, la materia prima no sufrirá ningún cambio de estado considerable, asegurando que el aumento de presión y temperatura sea muy bajo, por este motivo, el valor de la potencia de compresión corresponde al valor de potencia consumida por aumento de presión, y se utiliza la siguiente formula:

$$P_c = Q * p_a \quad (46)$$

Donde:

- ✓ Flujo volumétrico en el barril: $1107.61 \frac{\text{cm}^3}{\text{seg}} = 0.00117 \frac{\text{m}^3}{\text{seg}}$
- ✓ Pa = Presión de operación del material.

El valor de Pa, se determina mediante el experimento realizado en la sección 5.3.2. en la tabla 12, donde se determinó el valor de presión de operación correspondiente a 20 Bar, esto con el fin de garantizar que se mantenga una misma presión en todo el proceso permitiendo que el cordón tenga un acabado sin burbujas de aire. De esta manera, al aplicar el factor de conversión, se obtiene 2×10^6 Pa. Y se reemplaza:

$$P_c = 0.00117 \frac{\text{m}^3}{\text{seg}} * 2 \times 10^6 \text{ Pa.} = 2340 \text{ W} = 2.38 \text{ Hp} \quad (46)$$

Para el análisis de la **potencia de dosificación Pd**, es necesario asumir que el husillo permanece totalmente estático, mientras el elemento que gira es el cilindro o barril, logrando así un transporte del material a lo largo del husillo causada por el giro del cilindro conocida como potencia calórica, la cual se obtiene mediante la siguiente ecuación:

$$P_d = P_{dc} + P_{cz} \quad (47)$$

Donde es necesario determinar el valor de potencia disipada y potencia de cizalla. Para determinar la potencia disipada, será necesario utilizar la siguiente ecuación:

$$P_{dc} = \frac{\pi^3 * D^3 * N * \mu}{h} * \left(1 + \frac{n * e}{t}\right) * [(1 + 3a^2) * \cos(\varphi) + 4\text{sen}(\varphi)] * Ld \quad (48)$$

Donde:

✓ $n = \text{Numero de canales} = 1$

✓ $a = \text{relación entre flujos de presión y fricción} = 0,75$

Y se reemplaza en la ecuación utilizando los valores determinados anteriormente:

$$\begin{aligned} P_{dc} &= \frac{\pi^3 * (0.060\text{mm})^3 * (120\text{rpm}) * (3.7 \frac{N * \text{seg}}{m^2})}{(0.0071\text{ m})} * \left(1 + \frac{1 * (0.0043)}{0.04}\right) \\ &* [(1 + 3(0.75)^2) * \cos(29^\circ) + 4\text{sen}(29^\circ)] * (0.06\text{m}) \\ &= 11.4425 \frac{kg * m}{s} \end{aligned} \quad (48)$$

Aplicando el factor de conversión, se obtiene un valor de 0.15 Hp, a continuación, se halla el valor de la potencia de cizalla, la cual es un valor que depende de las dimensiones del husillo y cilindro, se determina mediante la siguiente ecuación:

$$P_{CZ} = \frac{n * \pi^2 * D^2 * N^2 * \mu * e * Ld}{\delta * \tan(\varphi)} \quad (49)$$

Donde:

✓ $\delta = 0.13\text{ mm}$

$$\begin{aligned} P_{CZ} &= \frac{1 * \pi^2 * (0.060\text{m})^2 * (120\text{rpm})^2 * (3.7 \frac{N * \text{seg}}{m^2}) * (0.0043\text{m}) * (0.06\text{ m})}{0.00013\text{ m} * \tan(29^\circ)} \\ &= 6.7778 \frac{kg * m}{s} \end{aligned} \quad (49)$$

Utilizando el factor de conversión se obtiene un valor de 0,0881 Hp. Después, se suman las dos potencias determinadas anteriormente P_{dc} y P_{Cz} obteniendo la Potencia de dosificación:

$$Pd = 0,15\text{ Hp} + 0,0881\text{ Hp} = 0.2381\text{ hp} \quad (47)$$

Finalmente, se realiza la sumatoria de potencias correspondientes a Potencia de alimentación, potencia de compresión y potencia de dosificación, dando como resultado la potencia suministrada por el motor:

$$P_M = P_A + P_C + P_D \quad (44)$$

$$P_M = 8.9713 \times 10^{-4}\text{ Hp} + 2.381\text{ Hp} + 0.2381\text{ hp} = 2.61\text{ Hp}$$

Aproximando el valor obtenido a 2.61 Hp correspondiente a 1940 Watts.

5.3.3.vii. Cálculo de momento torsor. El momento torsor es proporcional al giro del husillo de extrusión, por lo que fue necesario determinar el valor de la potencia suministrada por el motor, para lo anterior, será necesario seguir la guía propuesta en el libro Transformación de Plásticos [25], utilizando la siguiente ecuación para determinar torque (M_T):

$$T = \frac{P}{W1} \quad (50)$$

Donde:

- ✓ $P = 1940$ watts
- ✓ $W1 = 12.64$ Rad/seg

Y se reemplaza:

$$M_T = \frac{1940 \text{ watts}}{12.64 \frac{\text{rad}}{\text{seg}}} = 150.35 \text{ N} * \text{m} \quad (50)$$

5.3.3. viii. Motorreductor. Una vez definida la potencia requerida para el motor y las revoluciones en el sistema de extrusión, se determina la potencia de operación del motor mediante la aplicación del factor de servicio el cual se denomina como el índice que permite determinar la influencia que tienen las condiciones externas y se selecciona mediante la siguiente figura 50:

Figura 50.

Factor de servicio

FACTORES DE SERVICIO				
TIPO DE MOTOR QUE ACCIONA EL REDUCTOR	HORAS / DIA	TIPO DE CARGA		
		UNIFORME	MEDIA	CON CHOQUES
MOTOR ELECTRICO ENTRADA CONSTANTE	2	0.9	1.1	1.5
	10	1.0	1.25	2.75
	24	1.25	1.50	2.00
MEDIANAMENTE IMPULSIVA	2	1.0	1.35	1.75
	10	1.25	1.50	2.00
	24	1.50	1.75	2.50

Nota. La figura muestra las características para seleccionar el rango de operación. **Tomado de:** CLR, *Como seleccionar el mejor motor eléctrico en pequeños accionamientos*. Alicante, España, pp. 1–4.

En la figura se observan los valores que puede tener este factor de servicio teniendo en cuenta el tipo de carga (Media) y el tipo de motor que acciona el reductor

(Motor eléctrico), ambas en función del tiempo de trabajo en horas día, para este proyecto se estima el tiempo de extrusión máximo en 3 horas, a lo cual es necesario interpolar los valores de la tabla, obteniendo como resultado un factor de 1.1375. Al obtener este factor de servicio, se debe multiplicar por la potencia requerida por el motor para obtener la potencia de selección, para se es utiliza la siguiente ecuación:

$$P = FS * HP \quad (51)$$

Donde:

- ✓ $FS = 1.1375$
- ✓ Potencia de motor = 2.61 Hp

Y se reemplaza:

$$P = 1.1375 * 2.61 = 2.96 \text{ Hp} \quad (51)$$

Obteniendo un valor de 2.91 Hp a 120 rpm. Al determinar esta potencia, se identifica que el tipo de motor debe ser de baja potencia, también será necesario implementar un sistema de reducción de velocidad o caja reductora y un variador de velocidad para dar un nivel de precisión alto al momento de regular la velocidad de salida, según lo anterior, se selecciona un motor monofásico del Catálogo de motores de Siemens [30], bajo las siguientes consideraciones:

- ✓ Motor de baja potencia: entre 3 HP y 5 HP
- ✓ Revoluciones: Se debe seleccionar el motor que cuente con menos capacidad de revoluciones por minuto, esto nos indicara el número de polos del motor.
- ✓ Monofásico: Motores de 110 a 230 Voltios (V), a 60 Hz de frecuencia.
- ✓ Tipo de sujeción con bridas.

Partiendo de estas consideraciones, se selecciona el tipo de motor encontrando la relación más adecuada para el sistema de transmisión, el cual corresponde a las especificaciones mostradas en la figura 51.

Figura 51.

Referencia de motor.

Referencia	Número de Polos	Potencia nominal	Factor de potencia a plena carga	Corriente nominal	Corriente de arranque	Torque nominal	Torque de arranque	Torque máximo	Clase de aislamiento
	Polos	HP	%	A	A	Nm	Nm	Nm	
1LF3030-1BA11-4AA3-Z B09+D80	2	3,0	95,0	26/13	90,0	6,1	10,1	11,6	F
1LF3030-1BA31-6AA3-Z B09+D80	2	5,0	95,0	21,0	135,0	10,1	14,9	32,1	F
1LF3030-1BB11-4AA3-Z B09+D80	4	3,0	78,5	31/15,5	90,0	12,2	29,8	44,6	F
1LF3030-1BB31-6AA3-Z B09+D80	4	5,0	82,0	25,3	135,0	20,3	44,7	61,6	F
1LF3030-2AB11-6AA3-Z B09+D80	4	7,5	74,8	34,0	200,0	30,3	61,0	79,0	F
1LF3030-2AB21-6AA3-Z B09+D80	4	10,0	72,8	46,6	260,0	40,4	70,5	110,2	F

Nota. La figura representa la tabla de motores de 4 polos a 3 Hp. **Tomado de:** SIEMENS, "Catalogo de Motores por Siemens," no. 1.0, 2019, [Online]. Disponible: <https://www.siemens.com/serviciosindustriales>.

Con respecto al motor seleccionado, se obtiene la referencia del motor como se ve en la figura 52 y las características principales del motor las cuales son:

- ✓ Referencia: **1LF3030-1BB11-4AA3-Z**
- ✓ Potencia: 3 Hp
- ✓ Velocidad real: 1800 rpm
- ✓ Torque: 12.2 N m
- ✓ Corriente a 115 V -230 V = 9.0 Amp.
- ✓ Numero de polos = 4
- ✓ Tipo de sujeción por Bridas

Figura 52.

Motor Monofásico de 4 polos.



Nota. La figura muestra la representación gráfica del motor seleccionado. **Tomado de:** SIEMENS, "Catalogo de Motores por Siemens," no. 1.0, 2019, [Online]. Disponible: <https://www.siemens.com/serviciosindustriales>

Según lo mencionado anteriormente, para obtener precisión al momento de activar el variador de velocidad es necesario seleccionar una caja reductora, analizada más adelante en este proyecto.

5.3.3.ix. Caja reductora. La caja reductora es un mecanismo de transmisión el cual consiste principalmente de un complejo de engranajes los cuales consiguen reducir la velocidad de entrada aumentando el Par en el proceso recibiendo la potencia del motor a una velocidad elevada. Usualmente el sistema más utilizado es de tipo helicoidal sin fin corona y de tipo planetario, según el torque al cual necesitara la máquina, en este proyecto el husillo de extrusión.

Debido a que la potencia requerida es de 3 hp, se opta por seleccionar una caja reductora de Sinfín corona, y se selecciona una caja reductora que cumpla con las especificaciones del motor seleccionado, de esta manera, mediante la potencia y el numero de polos se selecciona la siguiente caja reductora para el sistema:

Figura 53.

Caja reductora a 3 Hp.



Nota. La figura muestra la representación gráfica de la caja reductora de tornillo sin fin corona, según el número de polos del motor y la potencia. **Tomado de:** “Caja reductora NM63 sinfín corona para motores de 1/2 a 3hp -.” <https://exhibirequipos.com/producto/caja-reductora-nm63-sinfin-corona/> (accessed Aug. 05, 2021).

Según el catálogo de la empresa [31], se selecciona el tamaño de la caja reductora con el numero de polos del motor y la potencia, además la empresa determina la relación que disponible que indica las revoluciones de salida mediante la relación

entre la velocidad de entrada la cual la indica el número de polos (1800 RPM), según el fabricante, a una potencia de 3 Hp se selecciona una relación de 10, al determinar esta relación, se obtienen las revoluciones de salida mediante la siguiente formula:

$$N_{salida} = \frac{N_{entrada}}{i} \quad (52)$$

Donde:

- ✓ N motor = 1800 rpm
- ✓ I = 10

Y se reemplaza:

$$N_{salida} = \frac{1800 \text{ rpm}}{10} = 180 \text{ rpm} \quad (52)$$

Obteniendo las revoluciones de salida de la caja reductora correspondientes al catálogo de la empresa Exhibir (Para mayor detalle ver anexo 4), Una vez se determina los valores principales de la caja reductora y se obtiene la descripción de la misma:

- ✓ Marca: EXH
- ✓ Referencia: **NMRV**
- ✓ Tipo de reducción: Sinfín Corona
- ✓ Potencia: 3 Hp
- ✓ Numero de polos = 4
- ✓ Velocidad de entrada: 1800 rpm
- ✓ Relación de velocidad: 10
- ✓ Velocidad de salida: 180 rpm
- ✓ Tipo de sujeción por Bridas

Al determinar la referencia de la caja reductora, es necesario definir el variador de velocidad para el proceso el cual debe tener como parámetro de entrada la potencia del motor seleccionado correspondiente a 3 Hp, de esta manera, utilizando la guía propuesta por el catalogo de variadores de frecuencia Optidrive de la empresa Invertek Drives [38], se selecciona el variador de velocidad que se ajusta a este requerimiento de potencia como se ve en la siguiente figura 54.

Figura 54.

Variador de velocidad.



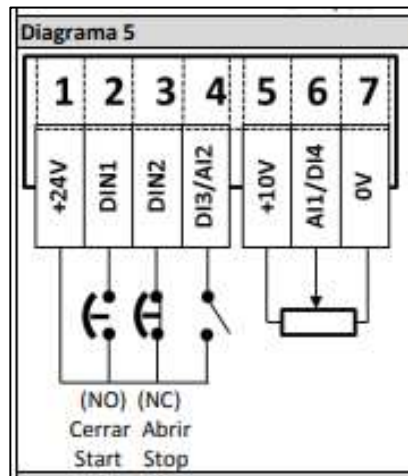
Nota. La figura muestra el tipo de variador de frecuencia seleccionado. **Tomado de:** Invertek Drives, “Catalogo de Variadores de frecuencia ,” pp. 23–24, [Online]. Available: <https://www.invertekdrives.com/variable-frequency-drives/optidrive-e3>.

- ✓ Variador de frecuencia IP20
- ✓ Referencia: **ODE-3-220105-1042**
- ✓ Salida de potencia: Motor de 3 Hp.
- ✓ Corriente de salida: 10.5 Amperios.

Dentro de las características principales es posible definir la programación que se puede dar a estos variadores, los cuales son principalmente por las entradas que se ven en la parte frontal del variador de velocidad, estas entradas varían según la cantidad de variables a controlar, para este proyecto, la prioridad es el potenciómetro el cual será el encargado de darle el rango de velocidad de entrada al sistema, de este modo, podemos definir las entradas de potencia mediante la siguiente figura 55.

Figura 55.

Diagrama de conexión potenciómetro



Nota. La figura muestra el diagrama de conexión para el variador de velocidad. **Tomado de:** I. Drives, “Catalogo de Variadores de frecuencia ,” pp. 23–24, [Online]. Available: <https://www.invertekdrives.com/variable-frequency-drives/optidrive-e3>.

En la figura, se puede observar el diagrama de entradas para poder programar el variador de velocidad y se definen de la siguiente manera:

1. En la entrada 1, encontramos la entrada de 24 Voltios, esta será el voltaje que permitirá alimentar las siguientes entradas.
2. Esta terminal se interpreta como un pulsador o un interruptor el cual me permita activar la salida, en este caso, el encendido del motor.
3. La terminal 3 se interpreta a manera de pulsador, en el mayor de los casos, se define como un pulsador de emergencia, el cual el variador lo interpreta como el paro total del sistema.
4. La terminal 4 esta directamente relacionada a elementos externos para conexión, en este punto pueden ser acoplados elementos externos de control.
5. De la entrada 5 a la 7 se define el potenciómetro, el cual será el encargado de darle la variación a la velocidad si es necesaria.

Según lo anterior mencionado, el variador de velocidad seleccionado va a trabajar a la velocidad máxima entregada por el motor, Para mayor de talle ver el anexo 9, por ultimo se selecciona un potenciómetro estándar de perilla con medidas, permitiendo dándole mayor precisión al momento de disminuir las revoluciones en el sistema, como se ve en la siguiente figura 56.

Figura 56.

Potenciómetro



Nota. La figura muestra la representación grafica del potenciómetro seleccionado para este proyecto.
Tomado de: “Perilla Para Potenciómetro Lineal De 1 Vuelta PPL1V.” <https://suconel.com/product/perilla-para-potenciometro-lineal-de-1-vuelta-ppl1v/> (accessed Aug. 05, 2021).

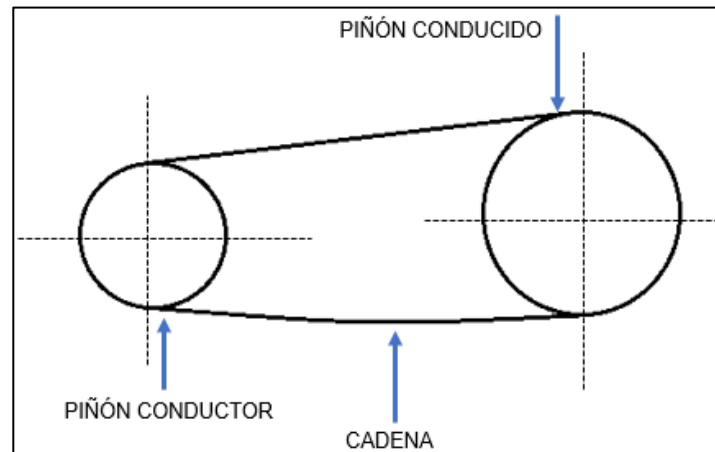
5.3.3.X. Sistema de transmisión. El sistema de transmisión son un conjunto de elementos encargados de transmitir la potencia generada por el un tipo de motor, para este proyecto, será necesario escoger un Motorreductor, el cual garantiza su eficiencia a bajas velocidades y alto torque. En cuanto a los elementos transmisores, existen varias alternativas de selección, sistemas de poleas, engranajes directos o piñón-cadena.

Para una correcta selección de los elementos transmisores de potencia, se debe tener en cuenta el que mejor se ajuste al tipo de motor necesario, de este modo, el sistema de poleas se descarta ya que este presenta mayor eficiencia en sistemas de altas revoluciones, entre los dos restantes, el sistema de engranajes directos resulta muy costoso, además, para este proyecto, resultaría ineficaz debido a las dimensiones del husillo, esto generaría un sobre dimensionamiento debido a las cargas generadas, por estos motivos, se opta por la alternativa de piñón-cadena.

El sistema de transmisión de piñón-cadena, presenta las condiciones ideales para transmitir la potencia requerida para este proyecto, debido a su versatilidad de montajes, facilita el posicionamiento de la transmisión, este sistema consta principalmente de 3 elementos principales, Piñón conductor, piñón conducido y cadena como se ve en la figura 57.

Figura 57.

Elementos de sistema de transmisión.



Nota. La figura muestra los elementos que intervienen en el sistema de transmisión piñón-cadena con su eje coordenado.

El piñón conductor es una rueda dentada encargada de recibir la potencia del eje de la caja reductora y transmitirla mediante la cadena al piñón conducido, usualmente es más pequeño que el piñón conducido el cual se encarga de recibir la fuerza y transmitirla al eje de transmisión, en este caso del husillo. Existen combinaciones de piñón-cadena las cuales varían en la cantidad de piñones y cadenas, es decir, existen cadenas dobles, triples y cuádruples las cuales se deben instalar en piñones de las mismas características, esto cuando se trabajan altos torques, para este proyecto basta con un sistema simple, 2 piñones simples y 1 cadena.

Para la selección de los piñones y cadena, se utilizará la guía propuesta por la empresa INTERMEC, en su catálogo de transmisión de potencia por piñones y cadenas [27].

5.3.3.x.a. Piñón conductor. La selección del piñón conductor es necesario conocer el valor de la potencia requerida o de trabajo, para lo anterior, y siguiendo el catálogo de piñón y cadena de INTERMEC [27], se debe iniciar hallando un valor de margen compensatorio de seguridad, el cual es un coeficiente que aumenta y compensa la potencia generada por el motor según el uso, como se ve en la figura 58.

Figura 58.

Margen compensatorio de seguridad.

Factores para calcular el margen compensatorio de seguridad			
	Clase de la fuente de potencia		
Tipo de carga	Motor de combustión interna con convertidor hidráulico	Motor eléctrico o turbina	Motor de combustión interna con embrague o caja mecánica
Uniforme	1.0	1.0	1.2
Fluctuante	1.2	1.3	1.4
Muy fluctuante	1.4	1.5	1.7

Nota. La figura muestra la tabla de factor para calcular el margen compensatorio de seguridad con respecto al tipo de carga y la clase de fuente de potencia. **Tomado de:** Intermecc. S.A, "Transmisión de potencia Piñones y Cadenas," [Online]. Disponible: <https://www.intermec.com.co/literatura.php>.

Según la figura 58, se determina un valor de 1.3, debido a la clase de fuente de potencia el cual es un motor eléctrico, y el tipo de carga la cual será fluctuante ya que se presenta una zona de alimentación. Este valor se multiplica por la potencia determinada anteriormente dando como resultado:

$$P_m = 3 \text{ Hp} * 1.3 = 3.9 \text{ Hp} \quad (53)$$

Obteniendo la potencia requerida para el motor en el diseño. Posteriormente, se calcula la relación de transmisión en el sistema piñón cadena, el cual permitirá determinar la geometría del piñón conducido mediante la selección del piñón conductor, de esta manera se utiliza la siguiente ecuación propuesta por el Catálogo de Intermecc [27]

$$R = \frac{RPM \text{ CONDUCTOR}}{RPM \text{ CONDUcido}} \quad (54)$$

Donde:

- ✓ RPM Conductor = 180 RPM

✓ RPM Conducido = 120 RPM

Y se reemplaza:

$$R = \frac{180 \text{ RPM}}{120 \text{ RPM}} = 1.5 \quad (54)$$

Al determinar la relación de transmisión, se escoge el piñón conductor con base al valor de potencia determinado, para esto, se busca el valor en las tablas de capacidad propuestas por el autor [27], obteniendo el paso y el número de dientes del piñón conducido como se ve en la figura 59.

Figura 59.

Tabla de capacidades.

		TABLA DE CAPACIDAD																			
		CADENA ESTANDAR SENCILLA DE RODILLOS NO. 60 PASO 3/4"																			
No. de dientes piñón conductor		RPM DEL PIÑÓN CONDUCTOR																			
		10	25	50	100	150	200	300	400	500	600	700	800	900	1000	1100	1200	1400	1600	1800	2000
9		0.15	0.33	0.62	0.16	1.57	2.16	3.12	4.04	4.94	5.82	6.68	7.54	8.38	9.21	9.99	8.77	6.96	5.70	4.77	4.0
10		0.16	0.37	0.70	1.30	1.87	2.43	3.49	4.53	5.53	6.52	7.49	8.44	9.39	10.3	11.2	10.3	8.15	6.67	5.59	4.7
11		0.18	0.41	0.77	1.44	2.07	2.80	3.87	5.02	6.13	7.23	8.30	9.36	10.4	11.4	12.5	11.9	9.41	7.70	6.45	5.5
12		0.20	0.45	0.85	1.58	2.28	2.95	4.25	5.51	6.74	7.94	9.12	10.3	11.4	12.6	13.7	13.5	10.7	8.77	7.35	6.2
13		0.22	0.50	0.92	1.73	2.49	3.22	4.64	6.01	7.34	8.65	9.94	11.2	12.5	13.7	14.9	15.2	12.1	9.89	8.29	7.0
14		0.24	0.54	1.00	1.87	2.69	3.45	5.02	6.51	7.96	9.37	10.8	12.1	13.5	14.8	16.2	17.0	13.5	11.1	9.25	7.5
15		0.25	0.56	1.05	2.01	2.90	3.76	5.41	7.01	8.57	10.1	11.6	13.1	14.5	16.0	17.4	18.8	15.0	12.3	10.3	8.7
16		0.27	0.62	1.16	2.16	3.11	4.03	5.80	7.52	9.19	10.8	12.4	14.0	15.6	17.1	18.7	20.2	16.5	13.5	11.3	9.6
17		0.29	0.66	1.24	2.31	3.32	4.30	6.20	8.03	9.81	11.6	13.3	15.0	16.7	18.3	19.9	21.5	18.1	14.8	12.4	10
18		0.31	0.70	1.31	2.45	3.53	4.58	6.59	8.54	10.4	12.3	14.1	15.9	17.7	19.5	21.2	22.9	19.7	16.1	13.5	11
19		0.33	0.75	1.39	2.60	3.74	4.85	6.99	9.05	11.1	13.0	15.0	16.9	18.8	20.6	22.5	24.3	21.4	17.5	14.6	12
20		0.35	0.79	1.47	2.75	3.96	5.13	7.38	9.57	11.7	13.8	15.8	17.9	19.8	21.8	23.8	25.7	23.1	18.9	15.8	13
21		0.38	0.86	1.55	2.90	4.17	5.40	7.78	10.1	12.3	14.5	16.7	18.8	20.9	23.0	25.1	27.1	24.8	20.3	17.0	14
22		0.38	0.87	1.63	3.05	4.39	5.67	8.19	10.6	13.0	15.3	17.5	19.8	22.0	24.2	26.4	28.5	26.6	21.8	18.2	15
23		0.40	0.92	1.7	3.19	4.60	5.96	8.59	11.1	13.6	16.0	18.4	20.8	23.1	25.4	27.7	29.9	28.4	23.3	19.5	16
24		0.42	0.96	1.79	3.35	4.82	6.24	8.99	11.6	14.2	16.8	19.3	21.7	24.2	26.6	29.0	31.3	30.3	24.8	20.8	17
25		0.44	1.00	1.87	3.50	5.04	6.52	9.40	12.2	14.9	17.5	20.1	22.7	25.3	27.8	30.3	32.7	32.2	26.4	22.1	18
26		0.46	1.05	1.95	3.65	5.25	6.81	9.80	12.7	15.5	18.3	21.0	23.7	26.4	29.0	31.6	34.1	34.2	28.0	23.4	20

Nota. La figura muestra la tabla de capacidad con base a el número de dientes y los RPM del piñón conductor. **Tomado de:** Intermecc. S.A, "Transmisión de potencia Piñones y Cadenas," [Online]. Disponible: <https://www.intermec.com.co/literatura.php>.

Esta tabla permite tener una primera referencia sobre el tipo de cadena que se necesita mediante la potencia que se necesita transmitir en el proceso, la cual corresponde a una cadena estándar sencilla de rodillos, con un paso de 3/4", esta cadena garantiza poder transmitir la potencia necesaria para el movimiento del husillo, de igual manera, será el mismo valor para el piñón conducido y un numero de dientes Debido a que es necesario disminuir las revoluciones en el piñón conductor, mediante la relación de transmisión de 1.5 permite disminuir el torque siguiendo la teoría de

diseño de piñones [27]. Según lo anterior, se determina el número de dientes para el piñón conducido.

$$Z2 = Z1 * R = 16 \text{ dientes} * 1.5 = 24 \text{ dientes} \quad (55)$$

Con estos valores podemos determinar las dimensiones y referencia de ambos piñones ingresando a las tablas correspondientes al paso seleccionado de 3/4 y el número de dientes como se ve en la figura 60. El código de referencia esta dado primeramente por el numero de la cadena que debe llevar, posteriormente por el tipo de manzana con el que está construido y por último el número de dientes del piñón.

Figura 60.

Tabla de piñones paso 3/4, piñón conductor y conducido.

PIÑONES 60 PASO 3/4"					
Referencia	D	Dm	L	d	Eje máximo* (pulg)
60B9 R	63.8	40	32	19.05	7/8
60B10 R	70.1	49	32	19.05	1-1/8
60B11 R	76.2	52	32	19.05	1-5/16
60B12 R	82.6	60	32	19.05	1-3/8
60B13	88.6	60	32	19.05	1-1/2
60B14	95.0	65	32	19.05	1-3/4
60B15	101.1	72	32	19.05	1-7/8
60B16	107.2	78	32	19.05	2
60B17	113.2	82	32	19.05	2-1/8
60B18	119.4	89	32	19.05	2-3/8
60B19	125.5	89	32	19.05	2-3/8
60B20	131.8	98	32	19.05	2-5/8
60B21	137.9	102	32	19.05	2-3/4
60B22	144.0	102	32	19.05	2-3/4
60B23	150.1	102	32	19.05	2-3/4
60B24	156.2	102	32	19.05	2-3/4
60B25	162.3	102	32	19.05	2-3/4

Nota. La figura muestra la tabla de piñones 60 de paso 3/4.

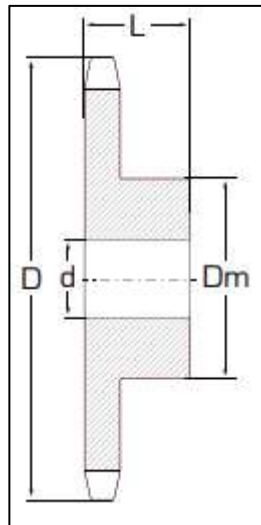
Tomado de: Intermecc. S.A, "Transmisión de potencia Piñones y Cadenas," [Online]. Disponible: <https://www.intermecc.com.co/literatura.php>.

En la tabla se puede observar dos marcas, un color rojo y otro color azul, las cuales corresponden a la selección del piñón conducido y piñón conductor respectivamente, además se obtiene el número de referencia **60B16** y **60B24**, luego el diámetro, diámetro de manzana, longitud, diámetro de eje y el valor máximo permisible del eje que se puede instalar, este último en el piñón conducido corresponde al eje de la caja reductora el cual es de 25 mm (Ver anexo 4), el cual se encuentra en el rango del piñón conducido. El otro diámetro corresponde al diámetro del eje diseñado el cual

corresponde a 35 mm, se considera correcto ya que el diámetro máximo que se soporta el piñón es de 2" con 3/4 (69.85 mm), estos valores son necesarios ya que usualmente los piñones son seleccionados con un diámetro de eje menor, al diámetro del eje que se va a instalar, permitiendo rectificar el piñón para un mejor ajuste. Las dimensiones se pueden observar en la figura 61.

Figura 61.

Plano de piñón.



Nota. La figura muestra las dimensiones de diseño de piñones. **Tomado de:** Intermec. S.A, "Transmisión de potencia Piñones y Cadenas," [Online]. Disponible: <https://www.intermec.com.co/literatura.php>

Con valores para piñón conductor:

- ✓ Referencia = **60B16**
- ✓ $D = 107.2$ mm
- ✓ $Dm = 78$ mm
- ✓ $L = 32$ mm
- ✓ $d = 19.05$ mm
- ✓ Eje máximo = 2"

Con valores para piñón conducido:

- ✓ Referencia = **60B24**
- ✓ $D = 156.2$ mm
- ✓ $Dm = 102$ mm
- ✓ $L = 32$ mm
- ✓ $d = 19.05$ mm
- ✓ Eje máximo = 2-3/4"

Obteniendo las dimensiones del piñón, es necesario obtener la velocidad angular para posteriormente elegir el tipo de motor que requiere este proyecto, A lo cual, se utilizara a teoría de cálculo de engranajes del libro Diseño de Maquinaria de Norton [28], obteniendo la siguiente ecuación:

$$\frac{W1}{W2} = \frac{D2}{D1} \quad (56)$$

$$W1 = \frac{D2}{D1} * (W2) \quad (56)$$

Donde:

- ✓ W1 = Velocidad angular piñón conductor
- ✓ W2 = Velocidad angular piñón conducido = 120 rpm = $12.56 \frac{Rad}{seg}$
- ✓ D2 = Diámetro piñón conducido = 156.2 mm
- ✓ D1 = Diámetro piñón conductor = 107.2 mm

Y se reemplaza en la ecuación:

$$W1 = \frac{156.2 \text{ mm}}{107.2 \text{ mm}} * \left(12.56 \frac{Rad}{seg} \right) = 18.30 \frac{Rad}{seg} \quad (56)$$

5.3.3.x.b. Cadena. Según lo mencionado anteriormente, el tipo de cadena corresponde a una estándar sencilla de rodillos y es necesario conocer la distancia entre centros (C), según el autor [27], esta distancia corresponde de 30 a 50 veces el paso de la cadena, para este proyecto el valor elegido es de 30, obteniendo el siguiente valor de C:

$$C = 30 * \frac{3}{4} \text{ in} = 22.5 \text{ in} = 571.5 \text{ mm} = 57.15 \text{ cm} \quad (57)$$

A continuación, se determina la longitud de la cadena, utilizando el siguiente método propuesto en el catálogo de INTERMEC; Primero se determina un valor de C' correspondiente a la división entre la distancia entre centros C y el paso de la cadena, obteniendo el siguiente resultado:

$$C' = \frac{22.5 \text{ in}}{0,75 \text{ in}} = 30 \quad (58)$$

Segundo, se suma la cantidad de dientes de ambos piñones, obteniendo el coeficiente S de la siguiente manera:

$$S = 16 + 24 = 40$$

Tercero, se resta los dientes del piñón conductor, del número de dientes del piñón conducido, determinando el valor del coeficiente D, con este valor, se ingresa a la tabla de la figura 62, permitiendo obtener el valor del coeficiente K.

$$D = 24 + 16 = 8$$

Figura 62.

Tabla de valores K.

TABLAS DE LOS VALORES DE K SEGUN SEA LA CANTIDAD D											
D	K	D	K	D	K	D	K	D	K	D	K
1	0,03	25	15,83	49	60,82	73	134,99	97	238,23	121	370,86
2	0,10	26	17,12	50	63,33	74	138,71	98	243,27	122	377,02
3	0,23	27	18,47	51	65,88	75	142,84	99	248,26	123	383,22
4	0,41	28	19,86	52	68,49	76	148,31	100	253,20	124	389,48
5	0,63	29	21,30	53	71,15	77	150,18	101	258,39	125	395,79
6	0,91	30	22,80	54	73,86	78	154,11	102	263,54	126	402,14
7	1,24	31	24,34	55	76,62	79	158,09	103	268,73	127	408,55
8	1,62	32	25,94	56	79,44	80	162,11	104	273,97	128	415,01
9	2,05	33	27,58	57	82,30	81	166,19	105	279,27	129	421,52
10	2,53	34	28,28	58	85,21	82	170,32	106	284,67	130	428,08
11	3,06	35	31,03	59	88,17	83	174,50	107	290,01	131	434,69

Nota. La figura muestra la tabla de valores K con respecto al número de dientes **Tomado de:** Intermec. S.A, “Transmisión de potencia Piñones y Cadenas,” [Online]. Disponible: <https://www.intermec.com.co/literatura.php>.

Obteniendo un valor de 1.62 para K.

Por cuarto, se reemplazan los valores en la siguiente ecuación para determinar la cantidad de eslabones:

$$2 * C' + \frac{S}{2} + \frac{K}{S} \tag{59}$$

Donde:

- ✓ C' = 30
- ✓ S = 40
- ✓ K = 1,62

$$2 * (30) + \frac{(20)}{2} + \frac{(1,62)}{20} = 70.08 \tag{59}$$

Por último, esta cantidad de eslabones se multiplica por el paso de la cadena, obteniendo la longitud de la cadena:

$$70.08 * 0.75 \text{ in} = 52.56 \text{ in} = 133.50 \text{ cm} = 1.33 \text{ m}$$

5.3.3.x.c. Chavetero. Para la selección del chavetero necesario, se utiliza el catálogo de piñones y cadenas de INTERMEC [27], definiendo anteriormente el diámetro del eje en la sección del piñón conducido el cual corresponde a 35 mm, con este valor se ingresa a la tabla de cuñeros y cuñas estándar de perfil rectangular, mostrada en la figura 63, obteniendo las dimensiones del mismo.

Figura 63.

Tabla de cuñeros y cuñas estándar.

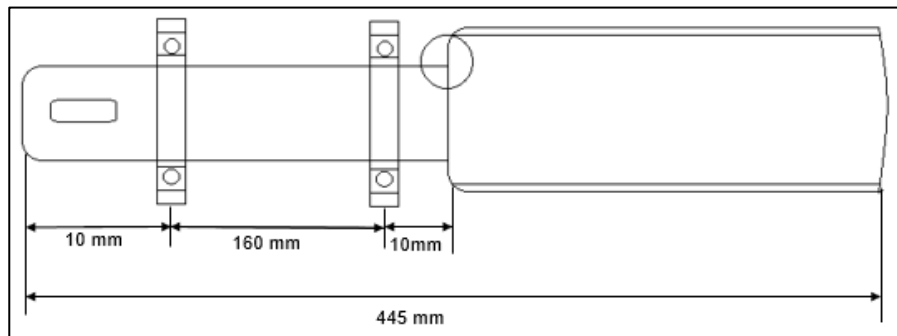
Diámetro del eje (mm)	Anchura y profundidad del cuñero en el eje (mm)	Dimensiones de la cuña (mm)	Diámetro del prisionero (mm)
6 a 8	2 x 1	2 x 2	3
8 a 10	3 x 1.6	3 x 3	3
10 a 12	4 x 2.2	4 x 4	4
12 a 17	5 x 2.7	5 x 5	5
17 a 22	6 x 3.2	6 x 6	6
22 a 28	8 x 3.7	8 x 7	8
30 a 38	10 x 4.7	10 x 8	10
38 a 44	12 x 4.7	12 x 8	10

Nota. La figura muestra la tabla de cuñas y cuñeros con respecto al diámetro del eje seleccionado anteriormente. **Tomado de:** Intermec. S.A, “Transmisión de potencia Piñones y Cadenas,” [Online]. Disponible: <https://www.intermec.com.co/literatura.php>.

5.3.3.xi Diseño del eje. El eje es el elemento en el cual van soportadas piezas inmóviles de apoyo o móviles, transmitiendo la potencia generada por el motor, al fin requerido, en este proyecto, al transporte del material dentro del cilindro del extruder y extrusión de los cordones de silicona, eso indica que recibe cargas de flexión y torsión definiendo el elemento como eje de transmisión. Para este proyecto, se definen los siguientes elementos de apoyo y dimensiones del eje mostrados en la figura 64.

Figura 64.

Dimensiones del eje.



Nota. La figura muestra las dimensiones del eje y los elementos a diseñar

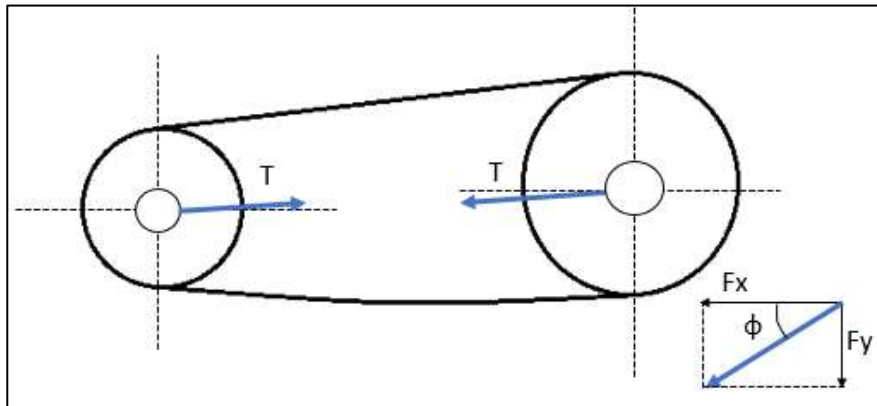
En la figura 65, podemos observar en la parte izquierda el chavetero del piñón conductor, el cual es el encargado de transmitir la potencia generada por el motorreductor, continuando con 2 elementos de apoyo, estos elementos son rodamientos de bolas, los cuales permiten el apoyo del eje y la transmisión de la potencia ejercida por el piñón conductor, el distanciamiento de estos rodamientos es importante ya que esto le da rigidez al eje, posterior al segundo rodamiento, se encuentra un cambio de sección, este es fundamental en el diseño ya que separa los rodamientos del husillo, además sirve como apoyo de la caja donde ira soportado el rodamiento 2.

5.3.3.xi.a. Fuerzas incidentes en el eje. Para el diseño del eje, será necesario analizar los esfuerzos que actúan sobre el mismo, con la finalidad de identificar el esfuerzo admisible que puede soportar este elemento, para su posterior selección del material. Para lo anterior, es necesario determinar los esfuerzos que genera el sistema de transmisión piñón cadena y las reacciones en los apoyos de las cargas de flexión y torsión generadas por el material a transportar y extruir.

Primero, siguiendo el esquema de la figura 64, se determina el esfuerzo generado por el sistema de transmisión el cual consiste en una fuerza de tiro (FT) y una componente (FY) generada sobre el eje a flexión como se ve en la figura 65, de lo anterior, según la guía para el diseño de elementos de transmisión tipo piñón-cadena en el libro Diseño de elementos de máquinas de Mott [29], se determina la fuerza de tiro FT con la siguiente ecuación:

Figura 65.

Fuerzas generadas en el sistema de transmisión.



Nota. La figura muestra los vectores de las Fuerzas T y su descomposición en Fx y Fy.

$$FT = \frac{2T}{D} \quad (60)$$

Donde:

- ✓ $T = 150.35 \text{ N} \cdot \text{m}$
- ✓ $D = 156.2 \text{ mm} = 0.1562 \text{ m}$

$$FT = \frac{2 * (150.35 \text{ N} \cdot \text{m})}{(0.1562 \text{ m})} = 1925.09 \text{ N} \quad (60)$$

Al determinar la fuerza de tiro, se debe descomponer esta para determinar las fuerzas incidentes en el eje, en la figura 65, se observa el ángulo Φ por la distancia entre centros y relación de diámetros corresponde a un valor muy pequeño, por este motivo, se supone que toda la fuerza FT actúa en la componente Fx, determinando las siguientes ecuaciones:

$$Fx = FT$$

$$Fy = FT \text{ Sen}(\Phi)$$

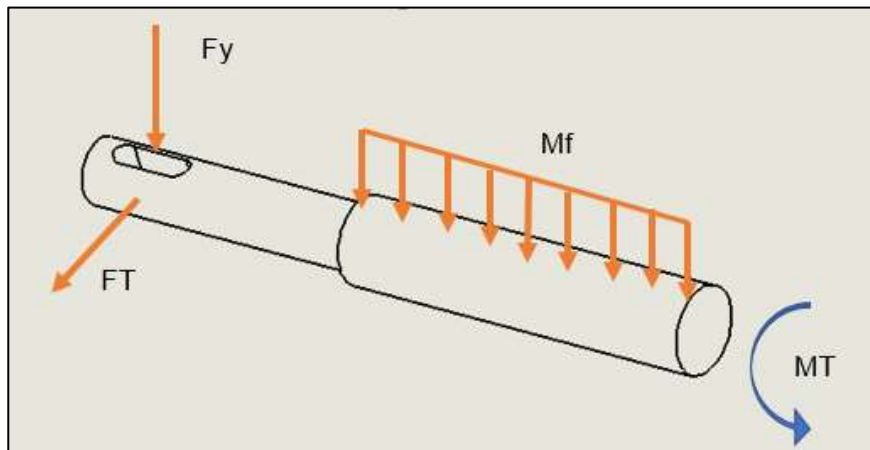
Donde:

- ✓ $Fx = 1925.09 \text{ N}$
- ✓ $Fy = 167.77 \text{ N}$

Obteniendo el diagrama de fuerzas en la figura 66, donde se muestran los esfuerzos externos generados por el sistema de transmisión y los momentos flectores y torsor generados por el material.

Figura 66.

Esfuerzos externos.



Nota. La figura muestra los vectores de las fuerzas \$F_y\$ y \$F_T\$, la carga distribuida \$M_f\$ y el momento torsor \$M_T\$

En el diagrama, se puede observar una carga distribuida correspondiente al momento flector determinado anteriormente, esta carga distribuida se convertirá a carga puntual para realizar el correcto análisis de fuerzas en el eje. Primero, se realiza el análisis en el eje Y, obteniendo el diagrama de cuerpo libre de la figura 67.

$$F = W * L \quad (61)$$

Donde:

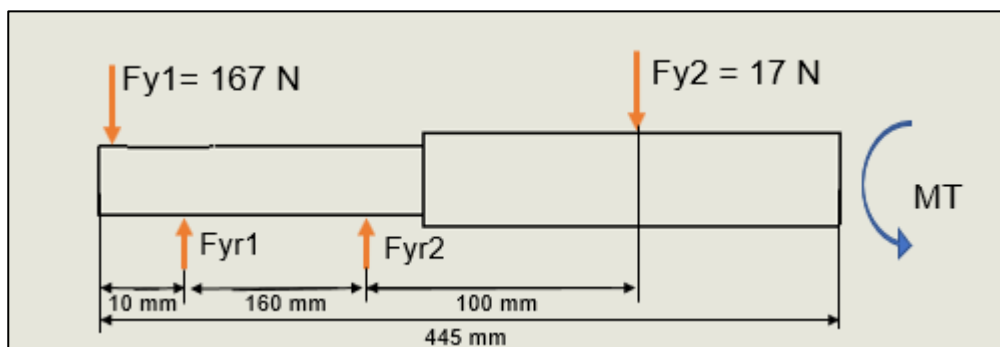
- ✓ \$W\$ = Peso del material por unidad de longitud = 7.98 kg/m
- ✓ \$L\$ = 0.225 m

Y se reemplaza en la ecuación:

$$F = 7,81 \frac{kg}{m} * 0.225 m = 1.75 kgf = 17.23 N \quad (61)$$

Figura 67.

Diagrama de cuerpo libre eje Y.



Nota. La figura muestra las reacciones generadas en los apoyos en el eje Y

A continuación, se determinan los esfuerzos en los rodamientos R1 Y R2, utilizando la teoría de sumatoria de fuerzas y de momentos en el eje Y de la siguiente manera:

$$\checkmark \sum M = 0$$

$$\sum M_{Fyr1} = 0$$

$$\sum M_{Fyr1} = (F_{y1} * (-0.01 m)) + (F_{yr2} * (0.16 m)) + (F_{y2} * (0.26 m)) = 0$$

$$(-167 N * (-0.01 m)) + (F_{yr2} * (0.16 m)) + (-17.23 N * (0.26 m)) + (150.35 N * m) = 0$$

$$(F_{yr2}) = \frac{147.55 N}{0,16} = - 922.18 N$$

$$\checkmark \sum Y = 0$$

$$\sum Y = -F_{y1} + F_{yr1} + F_{yr2} - F_{y2} = 0$$

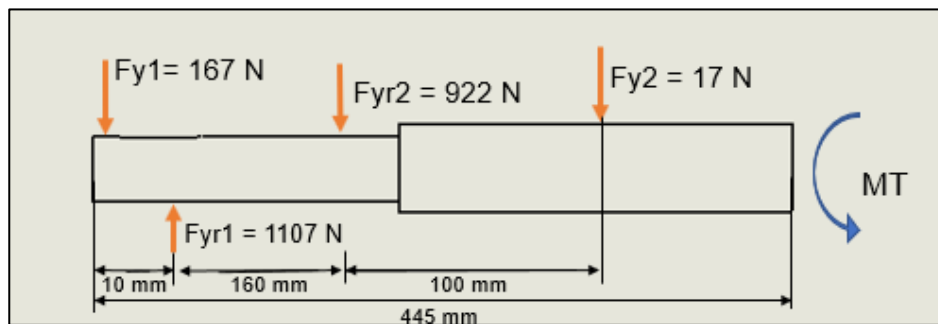
$$- 167 N + F_{yr1} - 922.18 N - 17.77 N = 0$$

$$F_{yr1} = 1107.03 N$$

Determinando los valores para las reacciones Fyr1 y Fyr2 como se ve en la figura 68, posteriormente, se determina las gráficas de esfuerzo cortante (figura 69) y momento flector (figura 70) en el eje Y.

Figura 68.

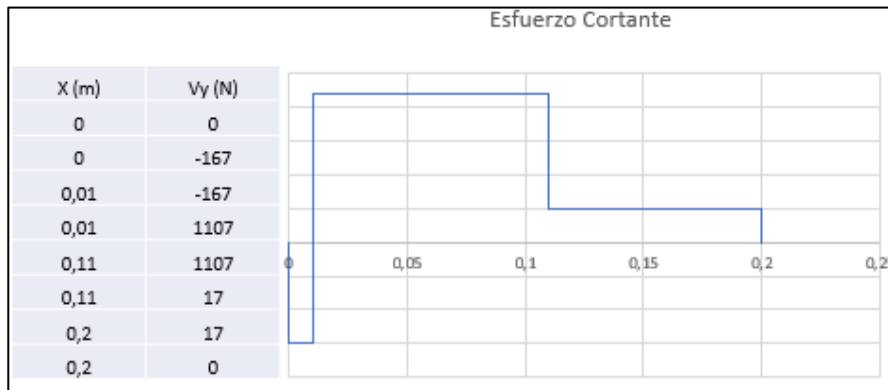
Diagrama de cuerpo libre Eje Y.



Nota. La figura muestra los valores de las reacciones en el eje Y.

Figura 69.

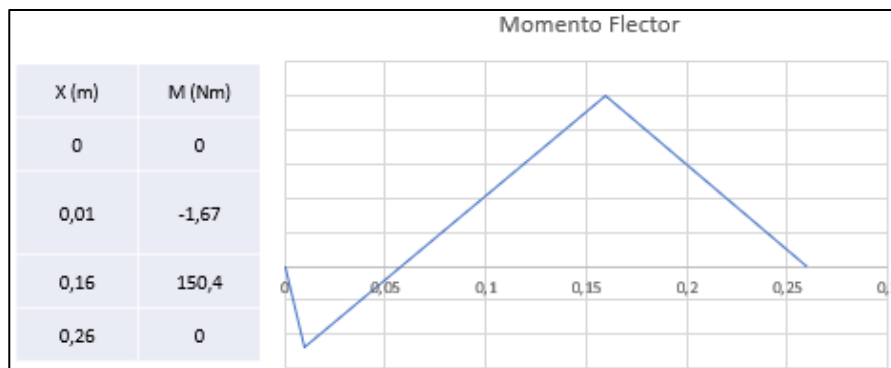
Esfuerzo cortante.



Nota. La grafica muestra el esfuerzo cortante de la distancia con base a la fuerza

Figura 70.

Momento Flector.

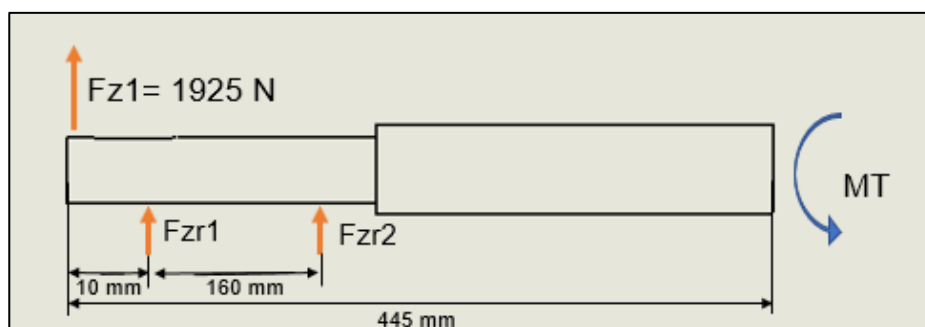


Nota. La grafica muestra el momento flector de la distancia con base a la fuerza

Determinando el momento flector máximo correspondiente a 49.8 N m, de igual manera, se realiza el análisis en el eje Z, siguiendo el orden coordenado XZ, obteniendo el siguiente diagrama de cuerpo libre de la figura 71.

Figura 71.

Diagrama de cuerpo libre eje Z.



Nota. La figura muestra las reacciones generadas en los apoyos en el eje Z.

Continuando, se determinan los esfuerzos en los rodamientos R1 Y R2, utilizando la teoría de sumatoria de fuerzas y de momentos en el eje Z de la siguiente manera:

$$\checkmark \sum M = 0$$

$$\sum M_{Fzr2} = 0$$

$$\sum M_{Fzr2} = (Fz1 * (-0.01 m)) + (Fzr1 * (-0.16 m)) + (150.35 N * m) = 0$$

$$(1925 N * (-0.01 m)) + (Fzr1 * (-0.16 m)) + (150.35 N * m) = 0$$

$$(Fzr1) = \frac{(-131.1 N m)}{-0.16 m} = 819,37 N$$

$$\checkmark \sum Z = 0$$

$$\sum Z = Fz1 + Fzr1 + Fzr2 = 0$$

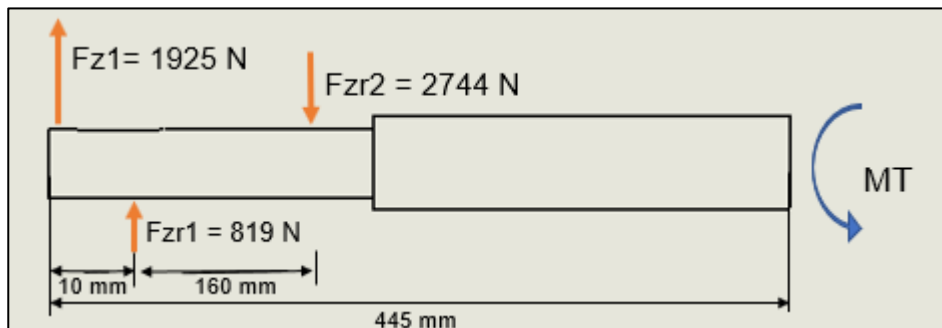
$$1925 N + 819,37 N + Fzr2 = 0$$

$$Fzr2 = - 2744.37 N$$

Determinando los esfuerzos correspondientes a los apoyos R1 y R2, a continuación, se obtiene el diagrama de cuerpo libre con las fuerzas determinadas (figura 72), y su correspondiente diagrama de esfuerzo cortante (figura 73) y momento flector (Figura 74).

Figura 72.

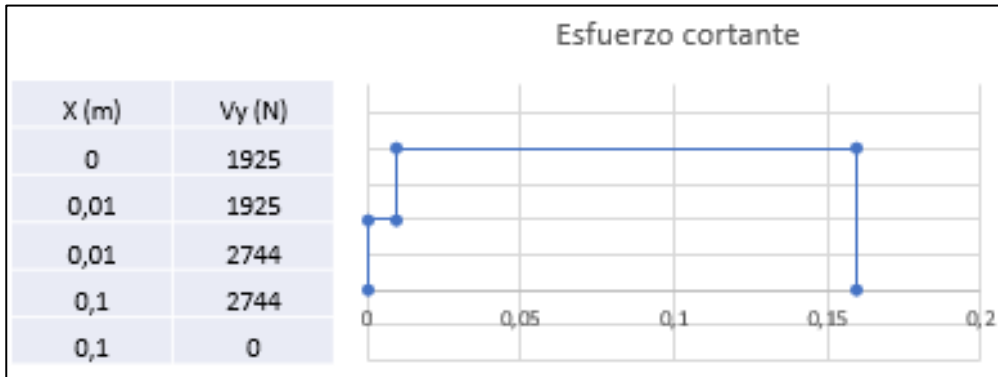
Diagrama de cuerpo libre eje Z.



Nota. La figura muestra los valores de las reacciones en el eje Z.

Figura 73.

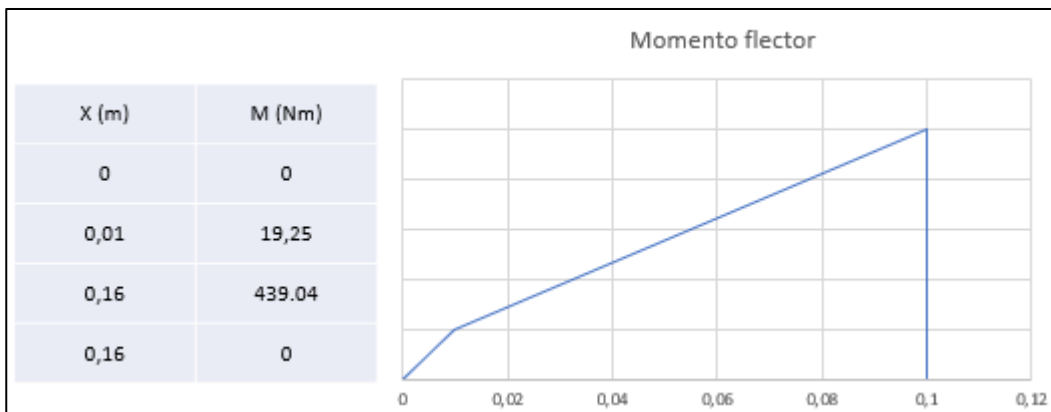
Esfuerzo cortante eje Z.



Nota. La grafica muestra el esfuerzo cortante de la distancia con base a la fuerza

Figura 74.

Momento Flector eje Z.



Nota. La grafica muestra el momento flector de la distancia con base a la fuerza

Determinando el momento flector máximo en el eje Z correspondiente a 439,04 N m en la coordenada 0.16 m.

5.3.3.xi.b Cambio de sección. Debido a que el eje presenta un cambio de sección, será necesario determinar el radio de curvatura y el diámetro ideal de la primera sección del eje de transmisión, para esto, se halla el factor de concentración de esfuerzos (K_t) generado en el cambio de sección considerando el tipo de elemento que ira en la zona, en este proyecto ira ubicado un rodamiento de bolas, a lo cual, según explica el autor [29], usualmente se espera que el radio de curvatura generado en el cambio de sección, debe ser el mayor posible, pero al ubicar un elemento de apoyo de este tipo, el radio de curvatura debe ser el menor posible, definiéndolo como agudo, a partir de esto, se definen los valores para K_t :

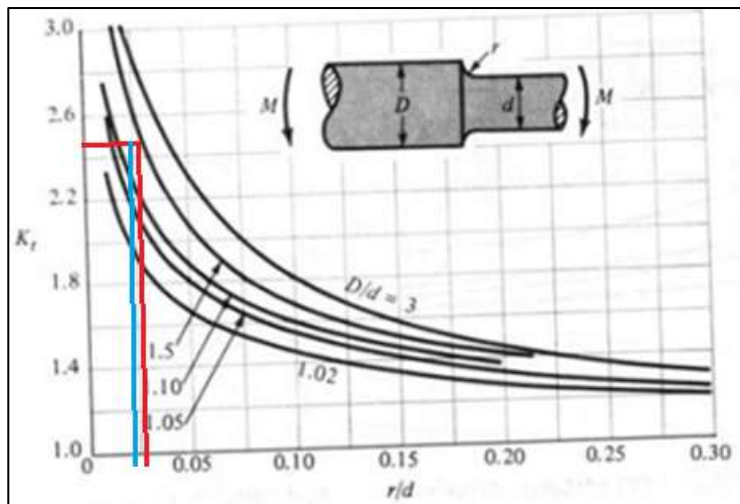
$$K_t = 2.5 \text{ (Chaflan agudo)}$$

$$K_t = 1.5 \text{ (Transicion bien redondeada)}$$

Definiendo K_t igual a 2.5 para este proyecto, posteriormente se determina un valor de D/d correspondiente a la relación entre diámetros igual a 1.5, por último, se ingresa a la tabla de radios de curvatura para cambios de sección en ejes de transmisión sometidos a flexión como se ve en la figura 75.

Figura 75.

Factor K_t .



Nota. La figura muestra la gráfica para cambios de sección en ejes sometidos a flexión. **Tomado de:** R. L. Mott, *Diseño de Elementos de Maquinas*. Pearson Educación, 2006.

Como podemos observar en la gráfica, la intercepción de las líneas rojas, señala un valor de 0.025 para el factor r/d , a lo cual se desarrolla esta ecuación determinando el valor del radio de curvatura:

$$0.025 = \frac{r}{d}$$

$$(0.025) d = r \tag{62}$$

$$r = (0.025) (35 \text{ mm}) = 0.875 \text{ mm}$$

Determinando el valor correspondiente al radio de curvatura para el cambio de sección del eje de transmisión.

5.3.3.xi.c. Esfuerzo admisible: Para este proyecto, será necesario determinar el esfuerzo cortante admisible para la correcta selección del material en el cual va a estar fabricado el eje de transmisión, a lo cual, se determina utilizando la ecuación de esfuerzo cortante planteada por el autor [29], involucrando los momentos máximos en

los ejes XY y XZ, y el diámetro corregido en la sección anterior utilizando la siguiente ecuación:

$$\sigma_{adm} = \frac{r}{J} \sqrt{M_z^2 + M_y^2 + T^2} \quad (63)$$

Con:

- ✓ J: Segundo momento polar de inercia.
- ✓ r: Radio sección transversal
- ✓ Mz: Momento máximo en el eje Z
- ✓ My: Momento máximo en el eje Y
- ✓ T: Torque

Al reemplazar en la ecuación de cortante máximo, las variables del segundo momento polar de inercia generado por la geometría cilíndrica del eje, se obtiene:

$$\sigma_{adm} = \frac{r}{\frac{\pi}{2} * r^4} \sqrt{M_z^2 + M_y^2 + T^2} \quad (64)$$

$$\sigma_{adm} = \frac{2}{\pi * r^3} \sqrt{M_z^2 + M_y^2 + T^2}$$

Donde:

- ✓ r = 17.5 mm = 0.0175 m
- ✓ Mz = 439 N m
- ✓ My = 150.4 N m
- ✓ T = 150.35 N m

Y se reemplaza:

$$\sigma_{adm} = \frac{2}{\pi * (0.0175 \text{ m})^3} \sqrt{(439 \text{ Nm})^2 + (150.4 \text{ Nm})^2 + (150.35 \text{ Nm})^2} \quad (64)$$

$$= 57'623,094.9 \text{ Pa} \approx 57 \text{ MPa}$$

Una vez determinado este valor, se puede determinar el tipo de material para el diseño del eje de transmisión. Será necesario considerar las propiedades del material, y la soldabilidad del material para la fabricación del husillo, por lo anterior, se escoge un acero al carbono de referencia SAE 1020, el cual tiene una resistencia a la fluencia de 207 MPa.

5.3.3.xi.d. Resistencia a la fatiga. La resistencia a la fatiga de un material es la capacidad que tiene para resistir cargas ejercidas por fatiga reales, para este proyecto, será necesario determinar el límite de fatiga que puede soportar el material con las cargas determinadas anteriormente, para esto será necesario analizar los factores de concentración de esfuerzos que actúan sobre el eje, determinando la

siguiente formula expuesta por el autor del libro Diseño de elementos de máquinas [29]:

$$S_e = K_a * K_b * K_c * K_d * K_e * K_f * S_e' \quad (65)$$

Donde:

- ✓ Ka: Factor de modificación de superficies.
- ✓ Kb: Factor de modificación de tamaño.
- ✓ Kc: Factor de modificación de cargas.
- ✓ Kd: Factor de modificación por temperatura.
- ✓ Ke: Factor de confiabilidad.
- ✓ Kf: Factor de esfuerzos varios.
- ✓ Se': Limite de resistencia a la fatiga.

El factor de modificación de superficies (Ka) corresponde al acabado superficial del eje con respecto al material, en este proyecto, el material es laminado en caliente según las propiedades del acero al carbono SAE 1020 (Para mayor detalle ver el anexo 5), y se determina mediante la solución de la ecuación de condición superficial de Martin [29] como se ve a continuación:

Figura 76.

Tabla de acabado superficial.

Acabado superficial	Factor a		Exponente b
	S _{ult} kpsi	S _{ult} MPa	
Esmerilado	1.34	1.58	-0.085
Maquinado o laminado en frío	2.70	4.51	-0.265
Laminado en caliente	14.4	57.7	-0.718
Como sale de la forja	39.9	272.	-0.995

De C. J. Noll y C. Lipson, "Allowable Working Stresses", en *Society for Experimental Stress Analysis*, vol. 3, núm. 2, 1946, p. 29. Reproducida por O. J. Hanger (ed.), *Metals Engineering Design ASME Handbook*, McGraw-Hill, Nueva York. Copyright © 1953 por The McGraw-Hill Companies, Inc. Reproducido con autorización.

Nota. La figura muestra la tabla 6-2 correspondiente al acabado superficial **Tomado de:** R. L. Mott, *Diseño de Elementos de Maquinas*. Pearson Educación, 2006.

$$K_a = a S_{ult}^b \quad (66)$$

Donde:

- ✓ a = 57.7 MPa
- ✓ S último = 207 MPa
- ✓ b = - 0.718

Y se reemplaza:

$$Ka = (57.7) * (413MPa)^{-0.718} = 1.25 \quad (66)$$

El factor de modificación de tamaño Kb, depende principalmente del diámetro del eje en la sección, para este proyecto, corresponde a 35 mm, esta dimensión nos permite ingresar a la tabla de la figura 77, donde podemos determinar la formula correspondiente para determinar el factor en mención.

Figura 77.

Factor de tamaño.

$$k_b = \begin{cases} (d/0.3)^{-0.107} = 0.879d^{-0.107} & 0.11 \leq d \leq 2 \text{ pulg} \\ 0.91d^{-0.157} & 2 < d \leq 10 \text{ pulg} \\ (d/7.62)^{-0.107} = 1.24d^{-0.107} & 2.79 \leq d \leq 51 \text{ mm} \\ 1.51d^{-0.157} & 51 < d \leq 254 \text{ mm} \end{cases}$$

Nota. La figura muestra los criterios de selección para el factor Kb con respecto al diámetro. **Tomado de:** R. L. Mott, *Diseño de Elementos de Maquinas*. Pearson Educación, 2006.

$$Kb = \left(\frac{d}{7.62}\right)^{-0.107} \quad (67)$$

$$Kb = \left(\frac{35 \text{ mm}}{7.62}\right)^{-0.107} = 0.8494$$

El factor de modificación de carga Kc se determina mediante el tipo de carga que reciba el eje, si este soporta más de un tipo de carga, se determina la que más tenga incidencia en el eje como se ve en la figura 78, este tipo de carga determina el valor de factor.

Figura 78.

Factor de tamaño.

$$k_c = \begin{cases} 1 & \text{flexión} \\ 0.85 & \text{axial} \\ 0.59 & \text{torsión} \end{cases}$$

Nota. La figura muestra los criterios de selección para el factor Kc con base al tipo de carga sometida. **Tomado de:** R. L. Mott, *Diseño de Elementos de Maquinas*. Pearson Educación, 2006.

$$Kc = 0.59$$

El factor de temperatura **Kd** corresponde directamente a la temperatura a la cual estará trabajando el sistema, a lo cual, se determina la temperatura ambiente de la zona en la cual estará ubicada la maquina correspondiente a 62°F en la ciudad de Bogotá, y se aplica a la siguiente formula:

$$\begin{aligned}
 Kd &= 0.975 + (0.432 \times 10^{-3} * Tf) - (0.115 \times 10^{-5} * Tf^2) \\
 &\quad + (0.104 \times 10^{-8} * Tf^3) - (0.595 \times 10^{-12} * Tf^4) \\
 Kd &= 0.975 + (0.432 \times 10^{-3} * 62^\circ f) - (0.115 \times 10^{-5} * 62^\circ f^2) + \\
 &\quad (0.104 \times 10^{-8} * 62^\circ f^3) - (0.595 \times 10^{-12} * 62^\circ f^4) = 0.99
 \end{aligned}
 \tag{68}$$

Para el factor de confiabilidad **Ke**, corresponde a la desviación estándar porcentuales del límite de resistencia a la fatiga, además de la confiabilidad en el diseño, con respecto a lo anterior, se determina de la tabla de la Figura 79.

Figura 79.

Factor de tamaño.

Tabla 6-5	Confiabilidad, %	Variación de transformación z_u	Factor de confiabilidad k_u
Factores de confiabilidad k_u correspondientes a 8 desviaciones estándar porcentuales del límite de resistencia a la fatiga	50	0	1.000
	90	1.288	0.897
	95	1.645	0.868
	99	2.326	0.814
	99.9	3.091	0.753
	99.99	3.719	0.702
	99.999	4.265	0.659
	99.9999	4.753	0.620

Nota. La figura muestra los criterios de selección para el factor K_e con respecto a la confiabilidad. **Tomado de:** R. L. Mott, *Diseño de Elementos de Maquinas*. Pearson Educación, 2006.

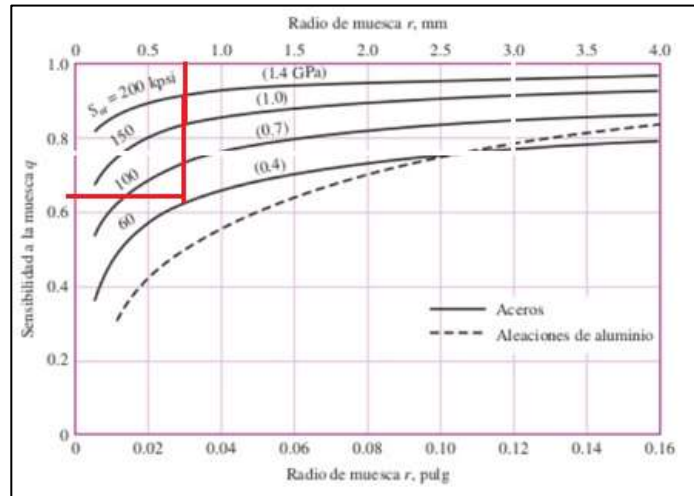
$$Ke = 0.753$$

En el factor de esfuerzos varios **Kf** será necesario realizar el análisis del eje sometido a flexión y a torsión, para esto, es necesario determinar un factor K_t , y un factor (q) que relaciona el radio de la muesca con el esfuerzo último del material como se ve en la figura 80, posteriormente se comparan los valores determinados en flexión y torsión, y se escoge el mayor valor entre estos dos.

✓ Flexión

Figura 80.

Factor q .



Nota. La figura muestra los criterios de selección para el factor q . con base al material. **Tomado de:** R. L. Mott, *Diseño de Elementos de Maquinas*. Pearson Educación, 2006.

$$q = 0.61$$

Anteriormente se determinó el valor de K_t para flexión, correspondiente a 2.5, estos valores se ingresan en la siguiente ecuación:

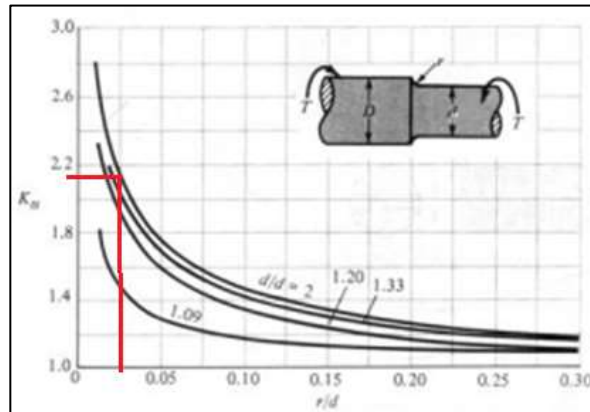
$$K_f = 1 + q(K_t - 1) \quad (69)$$
$$K_f = 1 + 0.61(2.5 - 1) = 1.915$$

✓ Torsión:

Para el análisis de torsión, será necesario determinar el factor K_t , a lo cual, se ingresa a la tabla de factor de concentración de esfuerzos por torsión de la Figura 81 partiendo de los factores determinados anteriormente D/d y r/d .

Figura 81.

Factor K_t .



Nota. La figura muestra los criterios de selección para el factor K_t con base a la carga de torsión. **Tomado de:** R. L. Mott, *Diseño de Elementos de Maquinas*. Pearson Educación, 2006.

$$K_t = 2.18$$

Para el valor de (q) , toma el mismo valor que en el análisis de flexión anterior, debido a que el radio de muesca y el material es igual, por ello, se reemplazan los valores en la ecuación de la siguiente manera:

$$K_{fs} = 1 + q(K_t - 1) \tag{70}$$

$$K_{fs} = 1 + 0.61(2.18 - 1) = 1.671$$

Según lo mencionado anteriormente el valor de K_f determinado por flexión es mayor al de torsión, por este motivo se utiliza el primero para efectos de cálculo. Por último, se determina el valor del límite de resistencia a la fatiga del material, para esto, se escoge el valor indicado con respecto a la resistencia ultima por fluencia del material mostrado en la figura 82.

Figura 82.

Límite de resistencia a la fatiga.

$$S'_e = \begin{cases} 0.5S_{ut} & S_{ut} \leq 200 \text{ kpsi (1 400 MPa)} \\ 100 \text{ kpsi} & S_{ut} > 200 \text{ kpsi} \\ 700 \text{ MPa} & S_{ut} > 1 400 \text{ MPa} \end{cases}$$

Nota. La figura muestra los criterios operación de resistencia a la fatiga con base al esfuerzo último del material. **Tomado de:** R. L. Mott, *Diseño de Elementos de Maquinas*. Pearson Educación, 2006.

$$Se' = 0.5(S ut) \quad (71)$$

$$Se' = 0.5(207 MPa) = 103.5 Mpa$$

Al determinar los valores correspondientes, se reemplazan en la formula () de resistencia a la fatiga.

$$Se = Ka * Kb * Kc * Kd * Ke * Kf * Se' \quad (65)$$

Con:

- ✓ $Ka = 1.25$
- ✓ $Kb = 0.8494$
- ✓ $Kc = 0.59$
- ✓ $Kd = 0.99$
- ✓ $Ke = 0.753$
- ✓ $Kf = 1.915$
- ✓ $Se' = 103.5 MPa$

Y se reemplaza:

$$Se = (1.25) * (0.8494) * (0.59) * (0.99) * (0.753) * (1.915) \quad (65)$$

$$* (103.5 Mpa) = 91.53 MPa$$

Este valor indica que el esfuerzo admisible determinado en la sección **anterior**, no supera la resistencia a la fatiga hallada en esta sección.

$$57 MPa < 91.53 MPa$$

5.3.3.xi.e Cálculo de rodamientos. El rodamiento o cojinete de rodadura es el elemento de apoyo en el cual va soportado el eje de transmisión, su función principal es soportar las cargas axiales y radiales, además de permitir el movimiento generados en el proceso. Estos rodamientos se conforman por 3 elementos principales, pista interior, pista exterior y los elementos rodantes. En cuanto a las pistas, usualmente la pista exterior será la fija y la interior la móvil, para este proyecto, será necesario que cumpla esta función ya que la pista interior deberá ir ajustada al eje de transmisión. Los elementos rodantes se diferencian por su geometría, pueden ser esferas, rodillos cilíndricos, rodillos cónicos y agujas, además, la selección correcta se determina mediante el tipo de trabajo a realizar y el tipo de carga a soportar, generalmente, para los ejes de transmisión se seleccionan los rodamientos de bolas, los cuales serán seleccionados para este proyecto.

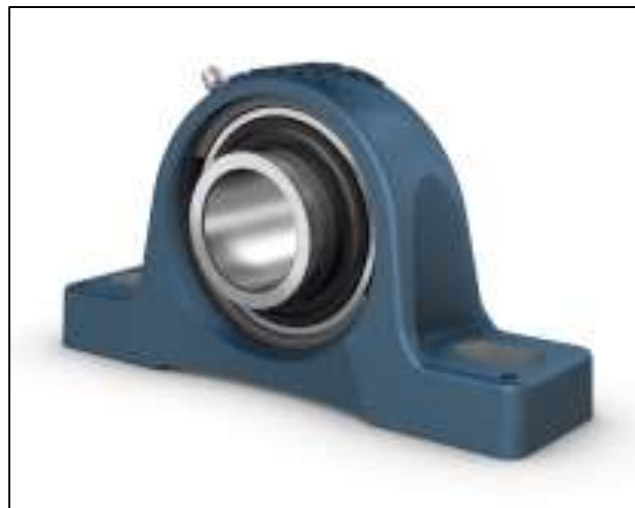
Debido a la importancia que tienen los rodamientos en cualquier mecanismo, se decide darle el máximo factor de seguridad posible a estos elementos, para conseguir una confiabilidad por encima del 95%, para la selección, se utilizara el catálogo de rodamientos de SKF [32].

Teniendo en cuenta las especificaciones principales para el desarrollo del proyecto, el tipo de rodamientos seleccionado es de bolas, estos rodamientos deberán tener sellos en ambas caras para evitar al máximo contaminantes externos y garantizar la vida útil de los mismos, además de facilitar la aplicación de lubricante periódicamente. De igual manera se seleccionan dos rodamientos diferentes, uno el cual estará acoplado a la estructura de soporte del dispositivo automático para la extrusión de silicona, el segundo rodamiento ira acoplado en el cambio de sección e ira asegurado por una caja la cual permitirá que la pista exterior quede fija y la pista interior reciba el movimiento del eje de transmisión.

Para la primera sección se selecciona un rodamiento de referencia **SY 35 TF**, esta referencia corresponde a un rodamiento de bolas con soporte de pie como se ve en la Figura 83, para mayor detalle ver anexo 6.

Figura 83.

Rodamiento de bolas primera sección.



Nota. La figura muestra la representación gráfica del rodamiento de bolas de la primera sección, se puede observar los sellos y la grasera en la parte superior. **Tomado de:** SKF, "Catálogo de Rodamientos SKF." 2020, [Online]. Disponible: <https://www.skf.com/co/products/rolling-bearings/ball-bearings/deep-groove-ball-bearings>.

Para efectos de diseño, se debe determinar la vida útil en función de las cargas y el tiempo de trabajo para el cual está destinado, a lo cual, se determina mediante la guía propuesta por la empresa SKF [32]. La guía expone la siguiente ecuación para determina la vida útil:

$$L = (K_T * L_R) * \left(\frac{C}{F_e * K_a}\right)^{3.33} \quad (72)$$

Donde:

- ✓ K_t: Coeficiente de confiabilidad.
- ✓ K_a: Coeficiente de aplicación.
- ✓ F_e: Fuerza equivalente.
- ✓ C: Capacidad de carga nominal.
- ✓ L_r: Vida del rodamiento = 10⁶

Para obtener los datos mencionados anteriormente, se determina la carga nominal que puede soportar el rodamiento 1 la cual corresponde a 25.5 kN (Anexo 6).

El **coeficiente de confiabilidad K_t**, se determina mediante la confiabilidad R_n que puede proporcionar el rodamiento en función de la aplicación, para este proyecto da un valor del 95% y se determina mediante la siguiente ecuación:

$$R_n = R^N \quad (73)$$

Donde:

- ✓ R: Confiabilidad del proyecto = 90%
- ✓ N: Numero de rodamientos = 2

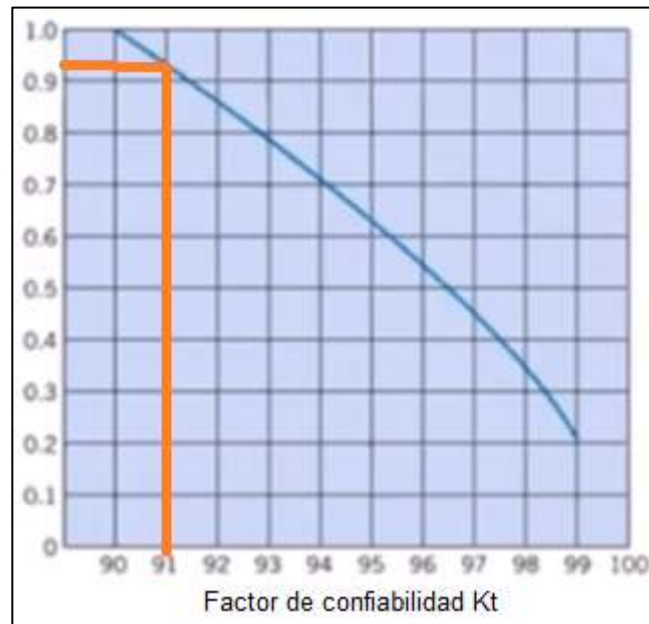
Y se reemplaza:

$$R_n = 0.95^2 = 0.91 \quad (73)$$

Una vez determinado este valor, se ingresa a la figura 14.13 de la guía de diseño de rodamientos de SKF vista en la figura 84, cortando el valor obtenido de confiabilidad con la curva.

Figura 84.

Factor de confiabilidad



Nota. La figura muestra la gráfica para determinar el factor de confiabilidad K_t . **Tomado de:** SKF, "Catálogo de Rodamientos SKF." 2020, [Online]. Disponible: <https://www.skf.com/co/products/rolling-bearings/ball-bearings/deep-groove-ball-bearings>.

Determinando un valor de 0.92 para K_t .

El coeficiente de aplicación se obtiene mediante la tabla 14.3 [32], con base al tipo de rodamiento y definiendo la aplicación como se ve a continuación:

Figura 85.

Factor de aplicación.

Tabla 14.3 Factores de aplicación K_a		
Tipo de aplicación	Rodamiento de bolas	Rodamiento de rodillos
Carga uniforme sin impacto	1.0	1.0
Engranajes	1.0 - 1.3	1.0
Impacto ligero	1.2 - 1.5	1.0 - 1.1
Impacto moderado	1.5 - 2.0	1.1 - 1.5
Impacto grande	2.0 - 3.0	1.5 - 2.0

Nota. La figura muestra la tabla para determinar el factor de aplicación K_a . **Tomado de:** SKF, "Catálogo de Rodamientos SKF." 2020, [Online]. Disponible: <https://www.skf.com/co/products/rolling-bearings/ball-bearings/deep-groove-ball-bearings>.

Obteniendo un valor de 1.2 de factor de aplicación. Por último, se determina el valor de la fuerza equivalente, este valor se determina mediante las fuerzas incidentes en el rodamiento, las cuales son la carga axial y la fuerza radial, se obtiene la diferencia de estas dos y se escoge el valor mediante la guía de SKF, como se ve en la Figura 86.

$$F_e = \frac{F_{radial}}{F_{axial}} \quad (74)$$

Donde:

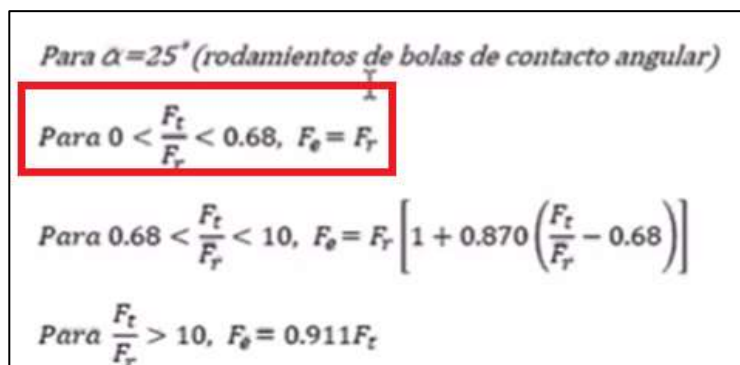
- ✓ F axial = 3113.4 N
- ✓ F radial = 1925.09 N

Y se reemplaza:

$$F_e = \frac{1925.09 \text{ N}}{3113.4 \text{ N}} = 0,61 \quad (74)$$

Figura 86.

Rangos carga equivalente.



Nota. La figura muestra los parámetros de selección para la fuerza equivalente. **Tomado de:** SKF, "Catálogo de Rodamientos SKF." 2020, [Online]. Disponible: <https://www.skf.com/co/products/rolling-bearings/ball-bearings/deep-groove-ball-bearings>.

Concluyendo que la fuerza equivalente, corresponde al valor de la fuerza radial igual a 1925.09 N, por último, se reemplazan los valores en la ecuación anterior.

$$L = (0.92 * 10^6) * \left(\frac{25,500 \text{ N}}{1925.09 \text{ N} * 1.2} \right)^{3.33} = 2733198176 \text{ rev} \quad (72)$$

Al aplicar el factor de conversión se determinan las horas de trabajo correspondientes a 89,820 Horas.

Para la segunda sección, se selecciona un rodamiento de referencia **6007-2Z**, esta referencia corresponde a un rodamiento rígido de bolas con doble sello como se ve en la figura 87, para mayor detalle ver anexo 7.

Figura 87.

Rodamiento de bolas segunda sección.



Nota. La figura muestra la representación gráfica del rodamiento. **Tomado de:** SKF, “Catalogo de Rodamientos SKF.” 2020, [Online]. Disponible: <https://www.skf.com/co/products/rolling-bearings/ball-bearings/deep-groove-ball-bearings>.

Debido a que la aplicación será la misma, los valores determinados para el primer rodamiento serán iguales a los del segundo, diferenciando la carga nominal con un valor de 27 kN y la fuerza equivalente determinada con los siguientes valores:

- ✓ F axial = 3113.4 N
- ✓ F radial = 2744 N

Y se reemplaza en la ecuación 73:

$$F_e = \frac{2744 \text{ N}}{3113.4 \text{ N}} = 0,66 \quad (73)$$

Obteniendo un valor de 2744 N de fuerza equivalente, y utilizando los valores determinados de K_t y K_a en la figura 84 y 85 respectivamente, se reemplaza en la ecuación () para obtener el siguiente resultado:

$$L = (0.92 * 10^6) * \left(\frac{16,800 \text{ N}}{2744 \text{ N} * 1.2} \right)^{3.33} = 690003163 \text{ rev} \quad (72)$$

Determinando un tiempo de 3,195 horas de trabajo.

5.3.3.xi.f. Molde de extrusión. El molde de extrusión es el último conjunto correspondiente al sistema de extrusión, es el encargado de extruir el material una vez se compacta en cilindro del husillo gracias a la presión generada al contacto de

la silicona con el molde. Este elemento puede tener diferentes modelos y puede generar cualquier perfil que se necesite, solo es necesario que el material sea lo suficientemente blando o dúctil para que pueda adoptar al perfil que se requiere, para este proyecto el material puede ser extruido fácilmente debido a su comportamiento plástico y el perfil necesario corresponde a un círculo en su área de sección transversal.

Usualmente, los moldes de extrusión tienen una sola salida, para este proyecto se siguió el modelo de molde de extrusión tipo araña, el cual permite obtener varios perfiles, cumpliendo con los objetivos propuestos se aumenta la cantidad de salidas a 2 en función de aumentar la producción de cordones de silicona como se ve en la Figura 88.

Figura 88.

Molde de extrusión.



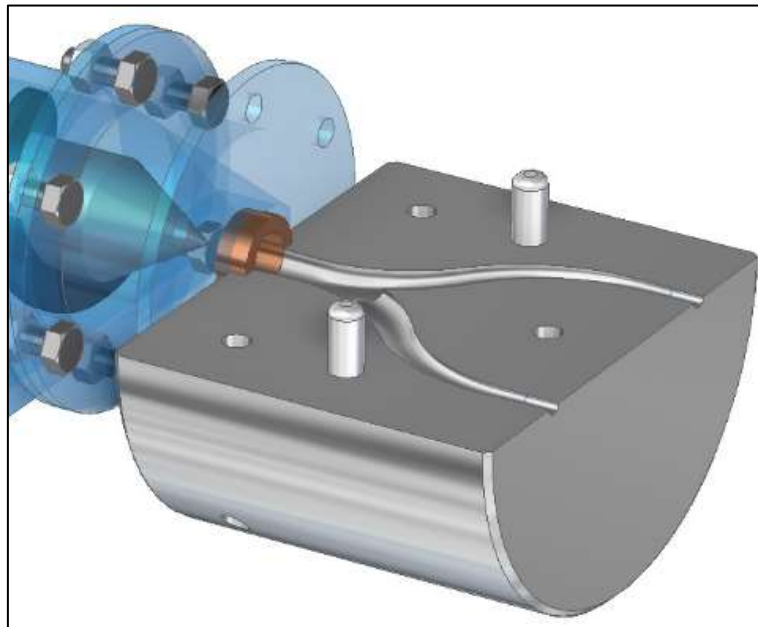
Nota. La figura muestra la parte inferior del molde de Extrusión, se puede observar las guías para acoplar la parte superior del molde y los agujeros donde va a asegurado.

En la Figura se puede observar las dos salidas en la parte superior y en la parte inferior un solo orificio, esta área de sección transversal corresponde a la misma área de las salidas solo que multiplicada por dos, permitiendo que el flujo de entrada corresponda al flujo de salida. El molde ira sujeto mediante tres pernos los cuales permitirán la instalación y desinstalación del mismo, facilitando el mantenimiento para

el operario y dos barras que funcionarán como guías para posicionar las secciones del molde. Las canales, según la teoría de fluidos hidráulicos, debe ser curvada evitando pérdidas por intersecciones y aristas además una distribución uniforme asegurando que el material se reparta en proporciones iguales para la posterior extrusión, para lograr el acople de la boquilla de compresión y el molde de extrusión, se diseña un anillo el cual tiene como función crear un canal de unión entre los dos elementos, facilitando el montaje y garantizando presión entre estos dos elementos al momento de ajustar los pernos, la unión de los elementos se puede observar en la figura 89.

Figura 89.

Unión entre boquilla y molde de extrusión



Nota. La figura muestra el anillo que permite el acople entre la boquilla de compresión y el molde de extrusión, además el montaje del sistema.

En la imagen anterior, podemos observar el llenado y flujo del material simulando la baja incidencia que tiene el fluido con base a su baja densidad, permitiendo que el material fluya de manera continua una vez se realiza la compresión mencionada en la sección anterior al molde, además, debido a que el sistema de alimentación estará abasteciendo de material al extruder en todo momento, siempre se va a presentar la compresión de materia prima en la cara interna del molde de extrusión, garantizando continuidad en la longitud de cordón de silicona evitando los vacíos de aire que se generan en el proceso actual.

El tiempo de extrusión de ambos cordones de silicona se determina dividiendo la velocidad de salida V_3 determinada anteriormente, y la longitud de cada cordón de silicona, obteniendo los siguientes tiempos para las 3 referencias de cordones de silicona:

✓ Velocidad de flujo = $7,2460 \frac{cm}{Seg}$

Tabla 14.

Tiempos de extrusión en este proyecto.

Referencia	Cantidad	Longitud	Tiempo de extrusión
1	2	40 cm	5.95 Seg
2	2	60 cm	8.78 Seg
3	2	75 cm	10.35 Seg

Nota. En la tabla se observa el aumento de cordones de silicona y los tiempos que tomaría la extrusión de las longitudes necesarias.

A partir de esta tabla, podemos realizar una comparación con el proceso actual manejado por la empresa Nacional de Licuadoras Naliet SAS, obteniendo la siguiente tabla de resultados:

Tabla 15.

Comparación de tiempos entre proceso actual y proceso de proyecto.

Proceso actual				Proceso del proyecto		
Ref.	Cantidad	Longitud	Tiempo	Cantidad	Longitud	Tiempo
1	1	45 cm	24 Seg	2	45 cm	5.95 Seg
2	1	60 cm	37.5 Seg	2	60 cm	8.78 Seg
3	1	75 cm	40 Seg	2	75 cm	10.35 Seg

Nota. La tabla muestra la comparación de procesos, enfatizando en el aumento de cordones de silicona y la reducción de tiempos para la referencia 1 75%, referencia 2 en un 77% y referencia 3 75%.

En la tabla 15 podemos observar la reducción del tiempo generado en el proceso planteado en el proyecto correspondiente al 75% debido al diseño del molde de extrusión, además se determinan los tiempos para el accionamiento de la cuchilla de corte para las 3 referencias de empaques para olla a presión.

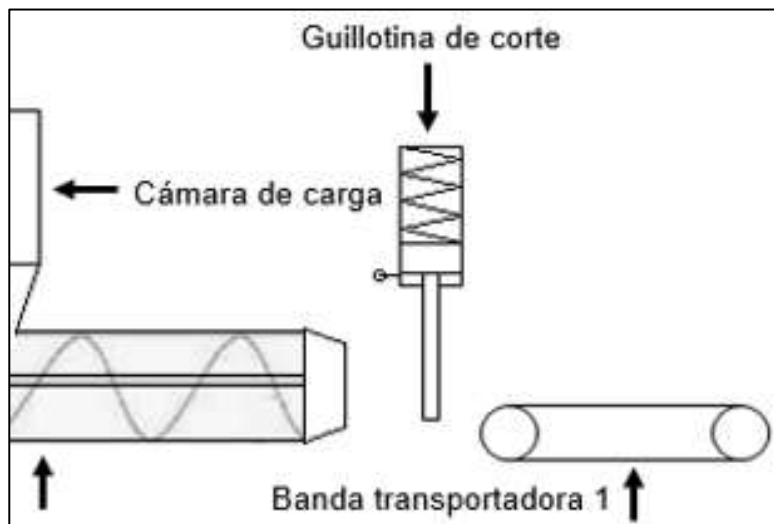
5.3.4 Diseño de sistema de arrastre y corte

El sistema de arrastre y corte es el encargado de transportar el cordón de silicona desde la salida del molde de extrusión hasta el lugar de almacenamiento dándole la

longitud necesaria. Consta principalmente de 3 elementos los cuales son una cuchilla de corte, y dos bandas transportadoras. La cuchilla será la encargada de cortar el cordón de silicona una vez este haya alcanzado la longitud necesaria, el corte será automático. Después se ubica una banda transportadora la cual será la encargada de arrastrar los dos cordones de silicona a una velocidad constante una vez salen del molde de extrusión, transportándolos hasta la segunda banda transportadora la cual tendrá como función principal separar los cordones de silicona para que estos no tengan contacto y evitar que se peguen uno al otro, en la figura 90 se puede observar el esquema del sistema de arrastre y corte.

Figura 90.

Esquema del sistema de arrastre y corte.



Nota. La figura muestra la ubicación de los elementos que componen el sistema de arrastre y corte.

La cuchilla de corte será de accionamiento neumático, debido a la baja resistencia que tiene el material a ser cortado, de lo anterior, se selecciona una cuchilla plana de la marca STANLEY como se ve en la figura 91, esta cuchilla ira sujeta a un cilindro neumático el cual se accionara al programar la longitud necesaria con el tiempo correspondiente mostrado en la tabla 13.

Figura 91.

Cuchilla plana STANLEY.



Nota. La figura muestra la representación gráfica de las cuchillas planas suministradas por la empresa STANLEY. **Tomado de:** STANLEY, “Repuestos para Herramientas Manuales, Cuchillas Planas,” 2021, [Online]. Disponible: https://ar.stanleytools.global/es/category/Hand_Tools?search_api_fulltext=&page=1.

Las características de la cuchilla son las siguientes:

- ✓ Referencia: STANLEY 11 -931.
- ✓ Espesor: 0.60 mm
- ✓ Ancho: 0.65 mm
- ✓ Longitud: 60 mm

En la tabla 14, se puede observar los tiempos de corte para las 3 diferentes referencias de cordones de silicona, definiendo los tiempos exactos que deberá transcurrir para que la cuchilla realice el proceso de corte explicado en la siguiente sección de automatización del sistema mediante temporizadores los cuales estarán controlados mediante sensores magnéticos.

Siguiendo el esquema, se ubica una banda transportadora totalmente plana la cual arrastrara el cordón de silicona, debido a las propiedades físicas del material que lo hacen pegadizo, se necesita que el material de la banda no sea adhesivo y el cordón de silicona se pueda desprender fácilmente, de igual manera se debe ajustar al tamaño de la longitud del cordón de silicona y la carga que va a soportar considerada como ligera, una vez determinadas las consideraciones, se realiza el diseño de la banda transportadora.

5.3.4.i. Diseño banda transportadora: Para darle solución al proyecto, es necesario diseñar una banda transportadora la cual tendrá como función principal ser un elemento de arrastre que permita facilitar la salida del cordón de silicona, para cumplir este objetivo, se utilizará la guía propuesta por el autor Mathews FKI Logistex, en el

catálogo Belt Conveyor [34] para el diseño de la misma. El autor indica que, para iniciar el diseño se deben tener en cuenta las siguientes consideraciones:

Carga: Hace referencia a la masa que debe soportar la banda, este factor define el tipo de banda a seleccionar. Para este proyecto puede ser de rodillos o deslizantes.

Velocidad: Velocidad de avance de la banda transportadora, para este proyecto, corresponde a la velocidad de salida del cordón de silicona.

Los parámetros anteriores se definen de la siguiente manera:

- ✓ Carga (4 cordones de silicona de 35 gr) = 35 gr C/u = 140 gr
- ✓ Velocidad = 7,246 cm/seg

Una vez definidos los parámetros de entrada y siguiendo con la guía propuesta por Mathews [34], se determina primero el ancho de la banda transportadora según la geometría del producto a transportar, para este proyecto, se determina una separación entre cordones de 8 centímetros uno al otro, además de esto, cada cordón tiene un diámetro de 5 mm, de esta manera se obtiene un ancho mínimo de 9 cm. El autor indica que el ancho de la banda corresponde a el ancho del producto más 3 pulgadas (7.62 cm), de esta manera se realiza la siguiente relación:

$$W = 9 \text{ cm} + 7.62 \text{ cm} = 16.62 \text{ cm} \quad (75)$$

Obteniendo el ancho de la banda transportadora, para efectos de selección, se determina un ancho de 18 cm. Continuando con el diseño se determina la distancia entre rodillos en caso de seleccionar esta referencia de banda transportadora, el autor menciona que debe existir una cantidad de 2 rodillos bajo el producto a lo cual, se plantea una distancia estándar de 4.5 pulgadas entre rodillos, aunque, el autor deja claro que, para el transporte de productos ligeros con desplazamientos suaves, una banda transportadora plana deslizante es la indicada para el proyecto, de igual manera, se determina el diámetro de rodillo mediante el peso del producto, y se determina en la siguiente tabla.

Tabla 16.

Diámetros de rodillo.

1.90" dia. x .065" Steel Roll		
Between Frames Dimension	Roller Weight w/o Axle	Roller Capacity w/ B1020
15"	2.0#	310#
21"	2.6#	310#
27"	3.3#	310#
33"	3.9#	306#
39"	4.5#	272#

Nota. La tabla anterior indica un valor de rodillo, con respecto a la distancia entre centros, peso y capacidad. **Tomado de:** M. F. Logistex, "Catalogo de Bandas Transportadora," pp. 7-25, [Online]. Available: www.fkilogistex.com/automation.

Según el catálogo, el diámetro para los rodillos finales tiene una medida mínima de 3 pulgadas y media, para efectos de diseño y selección, se selecciona un diámetro de 5 pulgadas. Continuando con el diseño, se determina la carga viva la cual se define como el peso por unidad de longitud que soportara la banda transportadora de la siguiente manera:

$$Carga = Masa\ de\ cordón * \#\ de\ cordones \quad (75)$$

Donde:

- ✓ Masa de 1 cordón = 35 gr
- ✓ # de cordones en la banda = 4

Y se reemplaza:

$$Carga = 35\ gr * 4 = 140\ gr \quad (75)$$

Una vez determinada la carga viva que debe soportar la banda transportadora, se determina la carga muerta o carga de los elementos que intervienen en la banda transportadora como rodillos, banda, poleas, en bandas deslizantes, se debe realizar el mismo proceso, debido a las cargas tan bajas a va a soportar la banda transportadora, se seleccionan los valores mínimos los cuales corresponden a la banda transportadora de mejor dimensión que se encuentra en el catálogo:

Tabla 17.*Tabla de cargas muertas*

Dead Loads Belt Conveyor - Roller Bed						
	Carrying Roller Centers	15" W lbs./ft.	21" W lbs./ft.	27" W lbs./ft.	33" W lbs./ft.	39" W lbs./ft.
Part 1	3"	9.6	12.8	16.4	19.6	22.8
	4-1/2"	6.9	9.3	12.0	14.4	16.8
	6"	5.6	7.6	9.8	11.8	13.8
	9"	4.5	5.9	7.6	9.2	10.8
	12"	3.6	5.0	6.5	7.9	9.3
Part 2	Drives & End Assemblies	80#	110#	140#	170#	200#
	Power Feed Assemblies	75#	100#	125#	150#	175#

Nota. La tabla muestra las cargas muertas para la parte 1 y 2. **Tomado de:** M. F. Logistex, "Catalogo de Bandas Transportadora," pp. 7–25, [Online]. Available: www.fkilogistex.com/automation.

De esta manera, se determina una capacidad de 9,6 libras por pie, al aplicar el factor de conversión se encuentra un valor de 14.28 kg/m, al determinar este valor, se determina la carga muerta multiplicando este valor por la longitud de la banda.

La longitud de la banda transportadora, para efectos de diseño se van a posicionar 2 cordones de la mayor referencia la cual corresponde a la referencia 3, con una longitud de 75 cm, al multiplicar este valor por 2, obtenemos una longitud de 150 cm, para efectos de diseño, se determina una longitud de 170 cm, y utilizamos estos valores para determinar la carga total en kilogramos.

$$Carga\ cinturón = Carga\ muerta * longitud$$

$$Carga\ Cinturón = 14.28 \frac{Kg}{m} * 1.70\ m = 24.27\ Kg \quad (76)$$

Por último se suman los valores de carga viva y carga muerta para determinar la carga total que debe soportar la banda transportadora.

$$Carga\ Total = carga\ viva + carga\ muerta \quad (77)$$

Donde:

- ✓ Carga viva = 140 gr = 0,14 kg
- ✓ Carga muerta = 24.27 kg

Y se reemplaza:

$$Carga\ Total = 0,14\ kg + 24.27\ kg = 24.41\ Kg \quad (77)$$

Al determinar este valor, se determina la potencia que necesita el motor para mover esta carga, para esto, se determina el peso mediante la ecuación (12), que relaciona la fuerza o el peso en función de la masa.

$$F = m * g \quad (12)$$

Donde:

✓ $m = 24.41 \text{ Kg}$

✓ $g = 9,81 \text{ m/s}^2$

Y se reemplaza:

$$F = 24.41 \text{ kg} * 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 239.46 \text{ N} \quad (12)$$

Una vez determinado el peso, se aplica el coeficiente de fricción propuesto por el autor el cual indica que para bandas transportadoras de rodillo tiene un valor de 0.5 y para bandas de plataforma deslizante tiene un coeficiente de 0.3, para este proyecto se selecciona una banda de plataforma deslizante, de esta manera al aplicar el factor, obtenemos el siguiente resultado para la tensión de la banda.

$$\text{Tension de la banda} = 239.46 \text{ N} * 0.3 = 71.83 \text{ N} \quad (78)$$

Por último, se determina la potencia requerida para mover esta banda transportadora multiplicando la velocidad de salida del cordón de silicona de la siguiente manera:

$$\text{Potencia requerida} = \text{Tension de banda} * \text{velocidad} \quad (79)$$

Donde:

✓ Tensión de banda = 71.83 N

✓ Velocidad = 0,0724 m/seg

Y se reemplaza:

$$\text{Potencia requerida} = 71.83 \text{ N} * 0.0724 \frac{\text{m}}{\text{seg}} = 5.20 \text{ Watts} \quad (79)$$

Una vez determinada la potencia se puede tener una idea de los requisitos del motor y el variador mediante la capacidad de carga de la banda transportadora en función de la longitud y el tipo, de esta manera, se determina la longitud de la banda transportadora con la cantidad de cordones que se van a extruir antes de que el operario los retire de la banda, de este modo, para efectos de diseño, se determina una longitud de 170 cm, lo cual corresponde a la longitud de 2 cordones más 20 centímetros de tolerancia. De esta manera se ingresa a la tabla 18 donde se encuentra el rango de longitud y se determina una primer potencia y capacidad de carga.

Tabla 18.

Rango de longitud para banda transportadora.

Intermediate Drive - Slider Bed - Horizontal Belt Conveyor Live Load Capacity @ 70 FPM										
Variable Length	1/2 HP		3/4 HP		1 HP		1-1/2 HP		2 HP	
	lbs./ft	Total	lbs./ft.	Total	lbs./ft.	Total	lbs./ft.	Total	lbs./ft	Total
12'-0"	19	231	39	471	57	684	100	1200	100	1200
17'0"	12	209	26	449	38	662	83	1416	100	1700
22'-0"	8	187	19	427	29	640	63	1394	87	1934
27'-0"	6	165	15	405	22	618	50	1372	70	1912

Nota. En la tabla anterior se observa la relación entre la longitud de la banda transportadora y el caballaje del motor. **Tomado de:** M. F. Logistex, "Catalogo de Bandas Transportadora ," pp. 7-25, [Online]. Available: www.fkilogistex.com/automation.

Debido a que la potencia requerida para transportar las cargas y la longitud de la banda transportadora son muy bajas, se selecciona el motor de mas bajas revoluciones con el cual cuenta el catálogo, de esta manera, se determina un motor de 0,5 Hp, con una capacidad de carga de 19 libras por pie (28.27 kg/m). De igual manera, al conocer la velocidad que debe tener la banda transportadora que va ligada directamente a la velocidad de salida del cordón, se determina las revoluciones por minuto que debe tener la banda mediante la geometría del rodillo seleccionado, la cual, según el autor, para la carga determinada, se selecciona un diámetro de 1,90 pulgadas (4.82 cm) [34]. A partir de estos datos, se determina las revoluciones por minuto:

$$Velocidad\ angular = \frac{Velocidad}{r} \quad (30)$$

Donde:

- ✓ Velocidad = 7.24 cm/seg
- ✓ Radio = 13 cm

Y se reemplaza:

$$Velocidad\ angular = \frac{7.24 \frac{cm}{seg}}{cm} = 0.5569 \frac{Rad}{seg} \quad (30)$$

Al aplicar el factor de conversión, se obtiene un valor de 6 revoluciones por minuto, a partir de este valor, se determina la potencia del motor y el factor de reducción para este sistema, utilizando la siguiente tabla 19:

Tabla 19.

Tabla de selección del motor y reducción en revoluciones.

Motor / Reducer Horsepower Output							
Motor HP	Reducer RPM						
	22	29	43	58	69	86	115
1/2	.330	.330	.354	.377	.361	.381	.411
3/4	.509	.525	.552	.593	.620	.623	.601
1	.674	.729	.750	.797	.826	.847	.856
1-1/2	1.037	1.076	1.178	1.241	1.244	1.280	1.316
*2	1.312	1.478	1.570	1.636	1.690	1.732	1.764
*3	1.968	2.217	2.397	2.448	2.556	2.628	2.691
*5	---	3.600	3.920	4.170	4.335	4.420	4.465

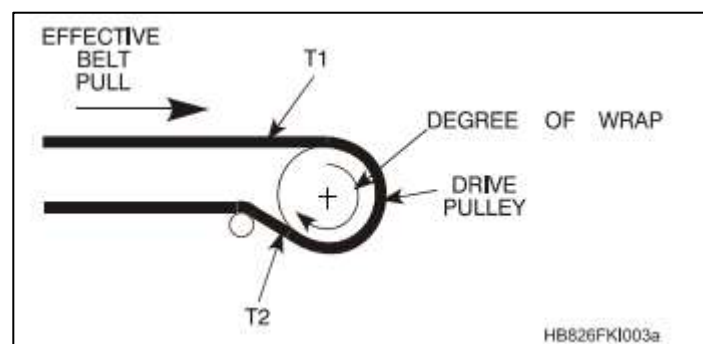
Nota. La tabla anterior muestra la reducción de revoluciones por minuto, con respecto al motor. **Tomado de:** M. F. Logistex, "Catalogo de Bandas Transportadora," pp. 7–25, [Online]. Available: www.fkilogistex.com/automation.

De la tabla anterior, mediante los factores de reducción de velocidad observados anteriormente, se selecciona un motor de 0,5 Hp a una velocidad de 22 RPM, al aplicar el factor de 0.381, se obtiene un valor de 7.26 RPM, el cual es un valor aproximado por encima del valor necesario de 6 RPM.

Por ultimo se determina la tensión de la correa, determinando los valores de T1 Y T2 como lo indica el autor [34], mediante la siguiente figura 92.

Figura 92.

Esquema de tensiones.



Nota. La figura 92 muestra la ubicación de las tensiones y elementos del rodillo. **Tomado de:** M. F. Logistex, "Catalogo de Bandas Transportadora," pp. 7–25, [Online]. Available: www.fkilogistex.com/automation.

En la figura, se pueden observar las posiciones de las tensiones T1 y T2, estas tensiones afectan directamente la correa y el eje en la banda, no tienen ninguna repercusión en la potencia requerida, de esta manera se definen las características de T1 y T2.

✓ T1: Lado tenso de la correa o lado de tracción.

✓ T2: Lado flojo de la correa.

Para determinar los valores de estas tensiones, se multiplica la tensión de la correa calculada anteriormente por el factor para cada tensión, indicados en la tabla 20:

Tabla 20.

Factores T1 y T2.

Pulley Table of Factors				
Component Pulley Wrap			Belt Tension	
Component Identification Number	Description	Degree of Wrap	T ₁ Factor	T ₂ Factor
C1743	Intermediate Drive	210° Lagged	1.38	.38
C1716	End Drive	200° Lagged	1.42	.42
C1721	Low Elevation End Drive	200° Lagged	1.42	.42
C1700	Low Profile Intermediate Drive	225° Lagged	1.34	.34
C1292	Heavy Duty Intermediate Drive	235° Lagged	1.31	.31

Nota. La tabla anterior muestra los valores para T1 y T2, con respecto al tipo de banda, ubicación del motor y servicio de la misma.

En la tabla, se pueden determinar los factores para T1 y T2 a partir del tipo de banda requerida, para este proyecto, se requiere una banda horizontal, de esta manera, se seleccionan valores para los factores obteniendo los siguientes resultados:

- ✓ Factor T1 = 1.38
- ✓ Factor T2 = 0.38
- ✓ Tensión de banda = 71.83 N

Y se desarrolla el cálculo:

$$T1 = Tension\ de\ la\ banda * Factor\ T1 \quad (80)$$

$$T1 = 71.83 * 1.38 = 99.12\ N$$

$$T2 = Tension\ de\ la\ banda * Factor\ T2 \quad (81)$$

$$T2 = 71.83\ N * 0.38 = 27.29\ N$$

Determinando los valores de tensión en las zonas de la banda transportadora. Por ultimo se selecciona el tipo de banda transportadora y se da la referencia determinada mediante el catálogo [34], definiendo las siguientes características:

- ✓ Ubicación del motor: En el final de la banda (End Drive).

- ✓ Modelo: BHE
- ✓ Referencia: C1716 End Drive.

De igual manera, es necesario determinar los valores de ancho, longitud y potencia definiendo la siguiente referencia para ordenar la banda transportadora:

Cantidad	Modelo	Ancho (W)	Rango de longitud	Hp
1	BHC	18 cm	180 cm	0.5

Además, es necesario definir el material de la correa, debido a las propiedades adhesivas del material a extruir caucho de silicona, se selecciona el material PVC ya que según el autor [34], este material es muy utilizado en la industria de alimentos, debido a su baja Abrasividad, permite remover fácilmente los cordones de silicona ya que la temperatura de trabajo es a temperatura ambiente (19°C), evitando que el cordón se adhiera a la banda transportadora, es este punto, el operario puede disponer del cordón para la ubicación posterior por parte de la empresa, cumpliendo con la delimitación propuesta en este proyecto.

Para la selección de la banda, debido a que los valores obtenidos mediante el diseño de la misma son muy bajos, se opta por fabricar la banda transportadora y no seleccionarla mediante el catalogo mencionado, de esta manera, se proponen opciones de fabricantes como BANDAS CIMEXSA, Empresa ubicada en la ciudad de Bogotá, donde se realizó una cotización y la empresa indica que es posible fabricar sobre planos la banda transportadora diseñada (Para mayor detalle, ver planos 32,33,34,35,36).

La empresa BANDAS CIMEXSA, propone la siguiente banda transportadora la cual se compone del transportador, la cinta, el motor y el sistema de reducción, como se observa en la figura 93 dentro de las marcas rojas.

Figura 93.

Banda transportadora CIMEXSA.



Nota. La figura representa la banda transportadora propuesta por la empresa aliada, la cual, en la marca roja izquierda, muestra la caja de control donde va posicionado el variador de velocidad, en la marca roja se observa el motorreductor acoplado al rodillo transmisor.

La empresa aliada propone un motorreductor de 3 Hp y una caja reductora de igual potencia, para obtener las revoluciones de salida (ver anexo 4), para efectos de diseño, en el proyecto se acopla el motor a un sistema de transmisión piñón cadena, determinando la relación 1.2 para la selección de los diámetros obteniendo los siguientes resultados según la potencia del motor de 3 Hp.

Con valores para piñón conductor:

- ✓ Referencia = **35B18**
- ✓ D = 60 mm
- ✓ Dm = 25 mm
- ✓ L = 19,05 mm
- ✓ Eje máximo = 2"

Con valores para piñón conducido:

- ✓ Referencia = **35B36**
- ✓ D = 115 mm
- ✓ Dm = 57.12 mm
- ✓ L = 22.22 mm
- ✓ Eje máximo = 2"

5.3.5 Automatización del sistema

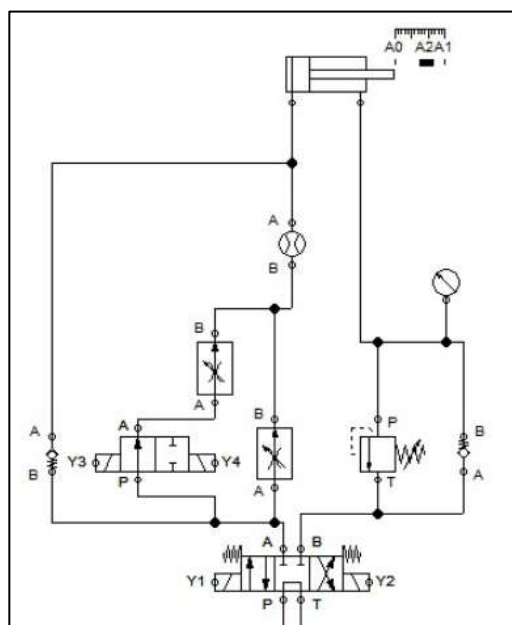
Uno de los principales problemas que enfrenta la empresa Nacional de Licuadoras Naliet SAS, es la pérdida de material generada en el proceso de corte manual buscando la longitud necesaria que lleva a cabo el operario, además el operario debe interrumpir el avance del pistón y por consecuencia el proceso de extrusión cuando no consigue cortar el cordón, o sale defectuoso por burbujas de aire o no tiene el tiempo suficiente para posicionarlo en la zona de almacenamiento, por este motivo, es necesario automatizar el proceso para facilitar el trabajo al operario y que este se encargue únicamente de activar los interruptores de inicio y ubicar los cordones en la zona de almacenamiento.

Para este proyecto, será necesario automatizar los 3 sub sistemas mencionados anteriormente a lo cual se propone la implementación de un PLC programado con lógica de bloques, este dispositivo permite automatizar y sincronizar los elementos que garantizaran que el proceso de extrusión sea continuo los cuales corresponden a el cilindro hidráulico (sistema de abastecimiento), motor del husillo de extrusión (Sistema de extrusión), cuchilla de corte, banda transportadora (Sistema de arrastre y corte).

En el sistema de abastecimiento, será necesario automatizar el avance del cilindro hidráulico el cual será controlado mediante 3 sensores magnéticos ubicados a lo largo de la camisa del cilindro, el primero al inicio del embolo a una carrera de 0 cm, el segundo se ubica a 20 cm y el ultimo al final de la carrera 50 cm, estos sensores trabajan mediante la presencia de un campo magnético originado por un imán, teniendo sensibilidad a ambos polos o a un solo polo, para este caso los sensores recibirán la señal al contacto del embolo interno del pistón, en este sistema, se plantea el diagrama hidráulico el cual ayudara a definir los elementos como se ve en la figura 94.

Figura 94.

Diagrama hidráulico.



Nota. La figura muestra el diagrama hidráulico diseñado en el programa Fluid Sim donde se observan los elementos que intervienen en el sistema.

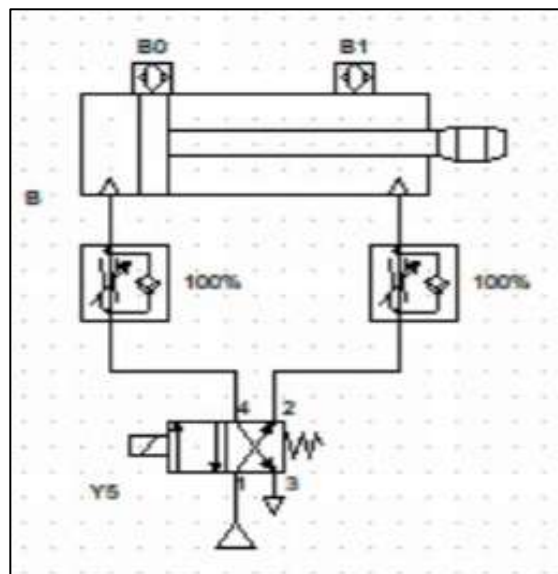
En la figura 94 se observa los elementos utilizados para el control el cual maneja 1 cilindro hidráulico (P1) en el cual están instalados 3 sensores a lo largo de su carrera A0 (0 cm), A1 (50 cm) Y A2 (20 cm), 1 electroválvula 4/3 biestable, 1 electroválvula 2/2, 2 elementos de estrangulación, 1 caudalímetro, 2 válvulas antirretorno y 1 presostato para liberar presión en el sistema. Al momento de arrancar el sistema, la válvula 4/3 cambia de posición permitiendo el paso del fluido a la electroválvula 2/2 generando el avance libre del pistón a velocidad constante, una vez el cilindro hidráulico alcanza el sensor A2, se cierra la válvula 2/2 obligando al fluido a pasar por la válvula estranguladora reduciendo considerablemente el caudal del fluido, disminuyendo la velocidad del pistón hidráulico obteniendo la velocidad de avance para la alimentación del sistema de extrusión posteriormente, cuando se activa el sensor magnético A1, se desactiva el cilindro hidráulico dando paso al fluido al tanque, es importante tener un control de la presión del sistema, por este motivo se instala el presostato en la línea de salida, este presostato controlara la presión interna del sistema, liberando fluido hidráulico al momento de que el manómetro registre niveles elevados de presión.

El sistema de corte, el cual consta de un cilindro neumático al cual va enganchada la cuchilla STANLEY, va a estar controlada mediante una electroválvula 4/2

monoestable, dos sensores magnéticos (B0 y B1) y dos válvulas reguladoras correspondientes a la entrada y la salida como se ve en la figura 95. Este cilindro se acciona mediante una señal enviada por segundo sensor capacitivo, el cual es el encargado de detectar la entrada del material al extruder, activando la cuchilla al paso de un tiempo establecido correspondiente a longitud del cordón de silicona, se selecciona una válvula monoestable ya que esta cuchilla tendrá que salir y entrar inmediatamente para no generar ningún tipo de taponamiento en el sistema de extrusión

Figura 95.

Diagrama neumático.



Nota. La figura muestra el diagrama hidráulico diseñado en el programa CADE SIMU donde se observan los elementos que intervienen en el sistema.

La programación del PLC se desarrolla mediante el diagrama de bloques de funciones FBD, utilizando un dispositivo LOGO de la empresa Siemens como se ve en la figura 96, el cual permitirá mediante su programación controlar el avance continuo del cilindro hidráulico, el motor del husillo de extrusión y la banda transportadora 1, de igual manera el avance por ciclos de la cuchilla de corte y la banda transportadora 2.

Figura 96.

PLC Logo con modulo adicional.



Nota. La figura muestra la representación grafica del PLC seleccionado, en la parte derecha, se observa acoplado el módulo adicional.

Como se puede observar en la figura, el PLC logo tiene un modulo adicional o modulo expansible, el cual tiene 4 entradas digitales y 4 salidas, este modulo adicional, permite aumentar la cantidad de variables a controlar, en este proyecto, fue necesario implementar para efectos de simulación del proceso, este modulo tiene las siguientes especificaciones (Para mayor información ver anexo 10):

- ✓ Referencia: **LOGO DM8 24 SIEMENS**
- ✓ Entradas digitales: 4
- ✓ Salidas: 4
- ✓ Voltaje de alimentación: 24 V Corriente directa.
- ✓ Salida: 24 V / Transistor.

Para lograr un correcto funcionamiento del sistema, es necesario la manipulación del sistema de manera automática y manual, para controlar esto, se instala un selector de tres posiciones con punto 0 como se ve en la figura 97. El sistema manual permitirá la sincronización de los elementos que pueden generar algún tipo de falla, y el sistema automático permitirá que el proceso de extrusión empiece una vez sea abastecida la cámara de carga.

Figura 97.

Selector de 3 posiciones.



Nota. La figura muestra el selector de muletilla y en los laterales los indicadores de modo manual y modo automático.

En el Plano 31 se puede observar el diagrama de lógica de bloques funcionales utilizada para la automatización del dispositivo de extrusión de cordones de silicona, donde encontramos las entradas y las salidas programadas, definiendo las tablas 21 y 22 correspondientemente:

Tabla 21.

Entradas programadas.

ENTRADAS		
PLANO	FBD	DESCRIPCION
S0	I1	Paro de emergencia
SA	I2	Modo automático
A0	I3	Sensor magnético cilindro hidráulico contraído
A1	I4	Sensor magnético cilindro hidráulico abierto
A2	I5	Sensor magnético cilindro hidráulico segunda velocidad
B0	I6	Sensor magnético cilindro neumático contraído
B1	I7	Sensor magnético cilindro neumático abierto
S1	I8	Apertura manual cilindro hidráulico
S2	I9	Cierre manual cilindro hidráulico
S3	I12	Apertura manual cilindro neumático
C0	I10	Sensor Capacitivo alimentación del material

C1	I11	Sensor Capacitivo salida del husillo
----	-----	--------------------------------------

Nota. La tabla muestra las entradas que se encuentran en el plano y en la programación de bloques FBD con su correspondiente descripción.

Tabla 22.

Salidas programadas.

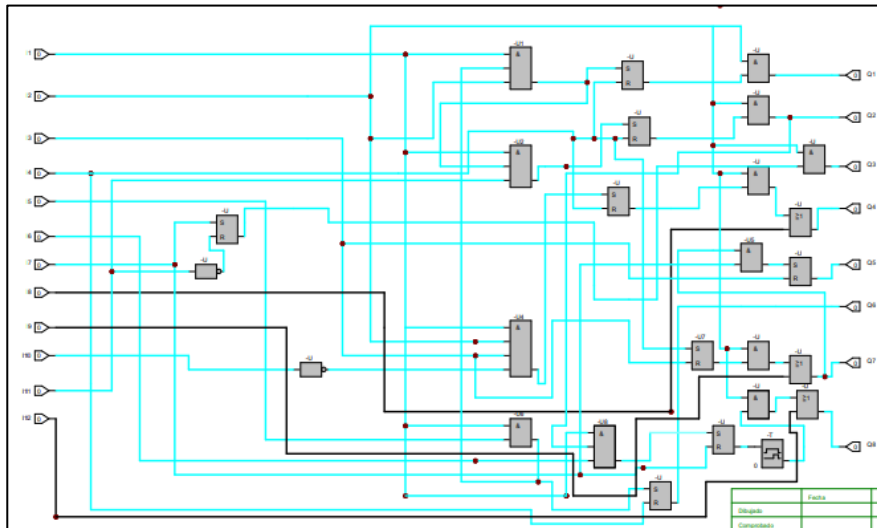
SALIDAS		
PLANO	FBD	DESCRIPCION
K1	Q1	ON motor husillo
K2	Q2	ON motor banda 1
K3	Q3	ON motor banda 2
Y1	Q4	ON apertura electroválvula cilindro hidráulico
Y3	Q5	ON electroválvula cilindro hidráulico velocidad 1
Y4	Q6	ON electroválvula cilindro hidráulico velocidad 2
Y2	Q7	ON cierre electroválvula cilindro hidráulico
Y5	Q8	ON electroválvula cilindro neumático

Nota. La tabla muestra las salidas que se encuentran en el plano y en la programación de bloques FBD con su correspondiente descripción.

A partir de la nomenclatura, podemos definir las zonas del plano empezando por el diagrama FBD podemos observar que las salidas para el sistema manual corresponden a Q4, Q7 y Q8, estas salidas están controladas mediante compuertas de tipo OR las cuales indican que es posible la entrada de la señal manual o automática para cumplir la función, al momento de obturar estos pulsadores, los sensores quedaran desactivados ya que el cilindro trabajara a la capacidad de avance determinada por la válvula estranguladora mencionada anteriormente, en la figura 98 se puede observar que las líneas de color azul corresponden a las señales automáticas, y las líneas de color negro a la señal manual, en la figura 99 se muestra el diagrama de bloques en condiciones iniciales.

Figura 98.

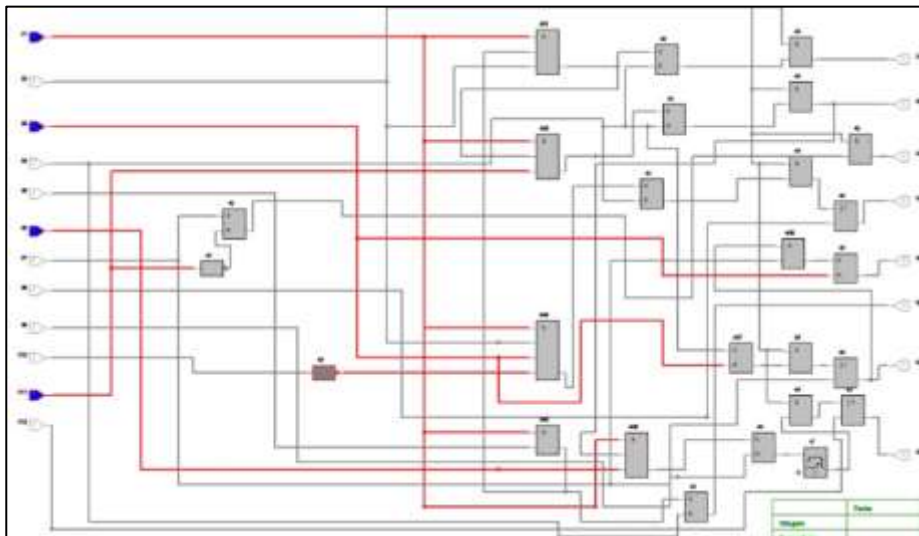
Líneas automáticas y manuales del plano FBD.



Nota. La figura representa las líneas manuales y automáticas de la lógica de bloques diseñada en el programa CADE SIMU

Figura 99.

plano FBD en condiciones iniciales.



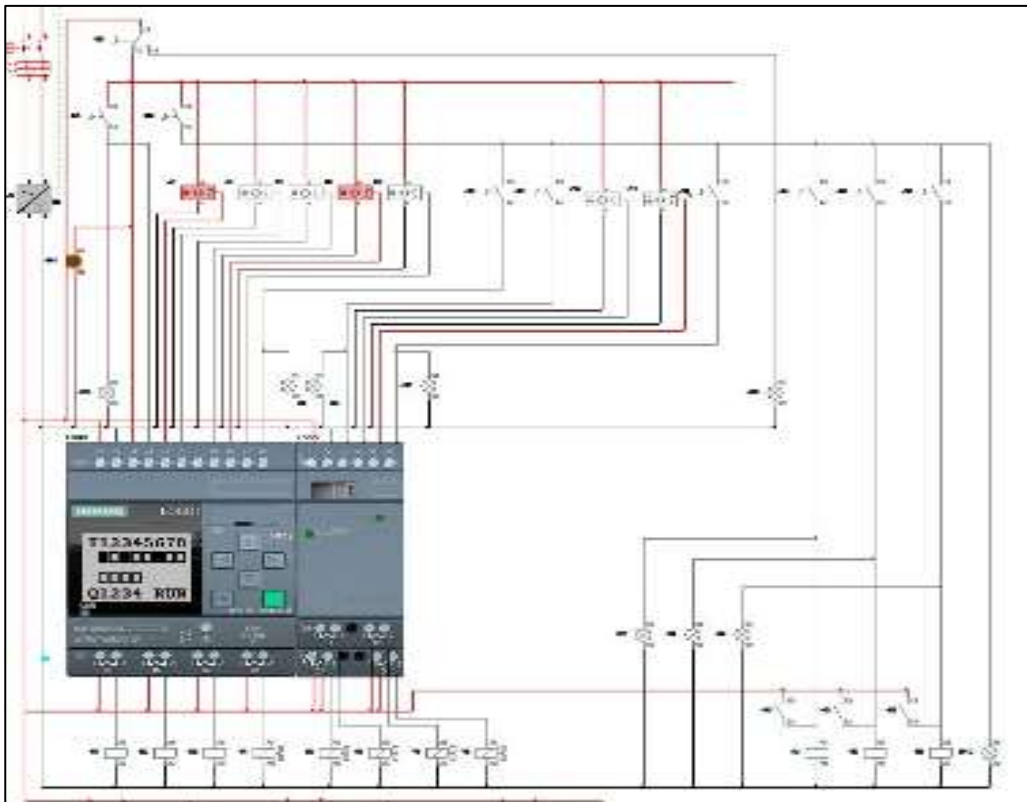
Nota. La figura representa las condiciones iniciales de la lógica de bloques diseñada en el programa CADE SIMU.

En la figura 99 también se muestra la conexión del sistema automático, el cual está controlado por compuertas AND las cuales actúan como condicionales para poder activar las salidas y paros de emergencia (Tabla 21), además compuertas Set y Reset se utilizan para mantener una señal activa (Set) las cuales se relacionan mediante los otros bloques AND y OR, estos bloques de igual manera, me permiten desactivar la señal mediante el Reset, generando que este bloque al recibir la señal de los

sensores, mantenga la señal activa y la desactive cuando el programa lo requiera cumpliendo las secuencias programadas. A la par se construye el plano de potencia el cual muestra la conexión al PLC y una línea de conexión por lógica cableada, esta línea identifica los relevos que conectan los variadores de frecuencia de los 3 motores K1, K2 y K3 definiendo los pulsadores S4, S5 y S6 como se ve en la figura 100.

Figura 100.

Plano de potencia en condiciones iniciales.



Nota. La figura representa las condiciones iniciales en el plano de potencia diseñado en el programa CADE SIMU.

Una vez descritos los elementos utilizados, es necesario describir el funcionamiento del dispositivo automático, no se tendrá en cuenta el sistema manual ya que este será descrito más adelante en la sección de manuales.

5.3.5.i Descripción del funcionamiento del dispositivo de extrusión: A continuación, se describe el proceso automatizado paso a paso.

1. El sistema arranca activando los 4 breakers, el breaker 1 controla la entrada de potencia al dispositivo Logo, el breaker 2 activa la tarjeta del variador del motor del

husillo, el breaker 3 activa el motor de la banda transportadora 1 y el breaker 4 activa el motor de la banda transportadora 2 como se ve en la figura 101.

Figura 101.

Ubicación de los Breakers

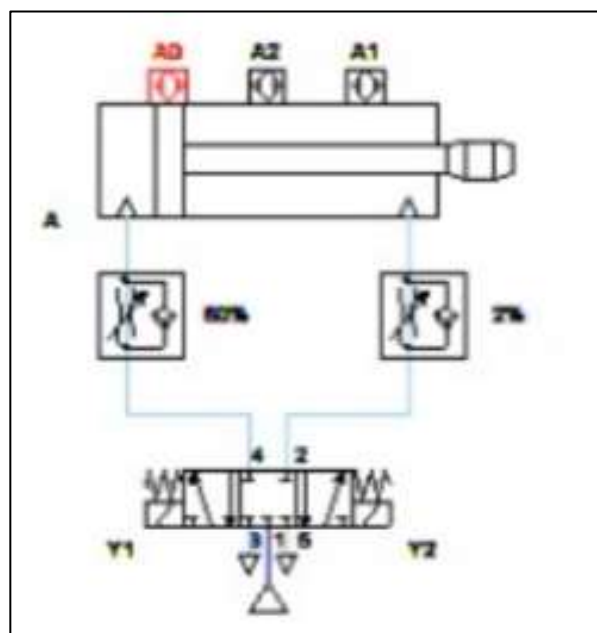


Nota. La figura muestra la representación gráfica de los breakers con su respectiva nomenclatura

2. Una vez el operario a alimentado el sistema de abastecimiento, debe accionar el selector en modo automático enviando un pulso J2 al PLC, inmediatamente se activa la electroválvula Y1 permitiendo el recorrido del cilindro hidráulico desde A0 hasta A2, si el sensor capacitivo ubicado en la zona de alimentación recibe alguna señal, se activa un paro de emergencia que detiene el avance del cilindro hidráulico activando el retroceso automático de la electroválvula 4/3 ubicándola en la posición central como se ve en la figura 102.

Figura 102.

Activación del sistema hidráulico.

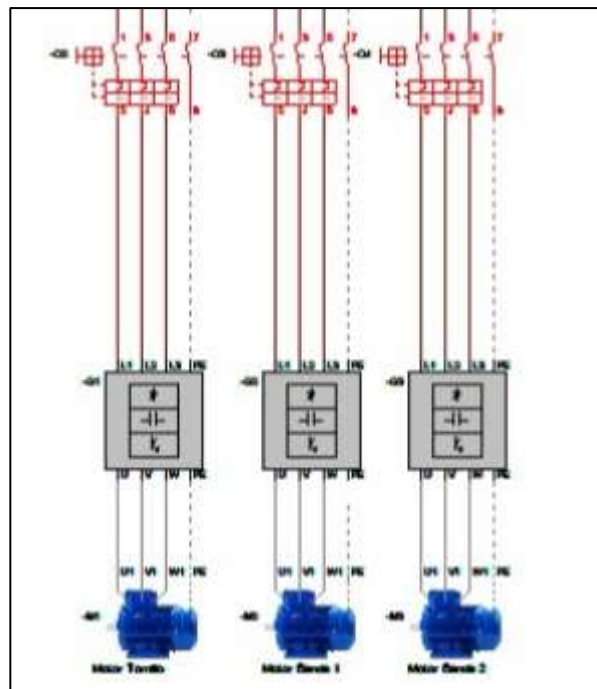


Nota. La figura muestra la activación del sistema hidráulico al momento de activarse el sensor A0, diseñada en el programa CADE SIMU.

3. Una vez el cilindro activa el sensor A2, se desactiva la electroválvula 2/2, disminuyendo la velocidad de avance del hidráulico, al mismo tiempo, se activan las entradas K1, K2 y K3, activando los motores Q1, Q2 y Q3 visto en la figura 103, cumpliendo que a medida que el pistón alimenta el husillo, este empieza a transportar el material y realiza la compresión, el motor de la banda transportadora Q2 trabaja de manera continua a velocidad constante y el motor de la banda transportadora Q3 trabaja por ciclos sincronizado con el sistema de corte.

Figura 103.

Activación de los motores.

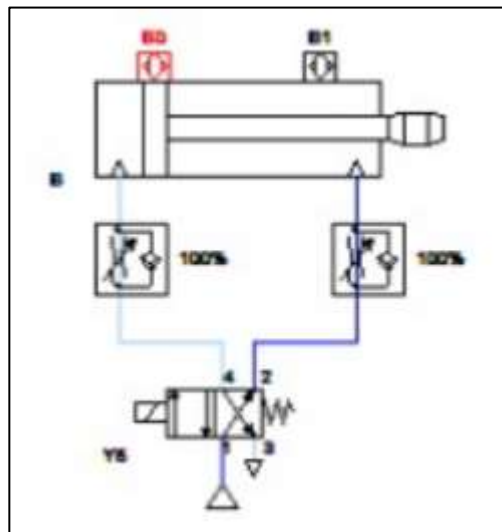


Nota. La figura muestra la activación del sistema los motores de 1 2 y 3, diseñada en el programa CADE SIMU.

4. Por último, la cuchilla STANLEY empieza a cortar los cordones de silicona una vez recibe la señal del sensor capacitivo J11 instalado a la salida del molde de extrusión, generando la activación de la electroválvula Y5 correspondiente al cilindro neumático, retornando inmediatamente al contacto con el sensor magnético J7, cumpliendo la función Q8 programada en el PLC como se ve en la figura 104, esta señal estará controlada mediante temporizadores con retardo a la conexión, los tiempos para la programación corresponden a la tabla 15 en la sección correspondiente al molde de extrusión.

Figura 104.

Activación del cilindro neumático.



Nota. La figura muestra la activación del sistema neumático al momento de activarse el sensor B0, diseñada en el programa CADE SIMU.

5.3.6 Análisis por elementos finitos

En este capítulo se desarrolla el análisis por elementos finitos, analizando principalmente los elementos que van a soportar las cargas generadas por el cilindro hidráulico y el mismo peso de los elementos estructurales, a lo cual se definen los elementos según el sub sistema que pertenece y el tipo de material de fabricación:

Tabla 23.

Sistemas y elementos a analizar por MEF.

Sub sistema	Elemento	Material
Abastecimiento	Flanche	Acero inoxidable
	Cámara de carga	Acero inoxidable
Extrusión	Estructura	Acero estructural

Nota. La tabla muestra los elementos a analizar por el método MEF dividiéndolos por sub sistemas y el tipo de material de fabricación.

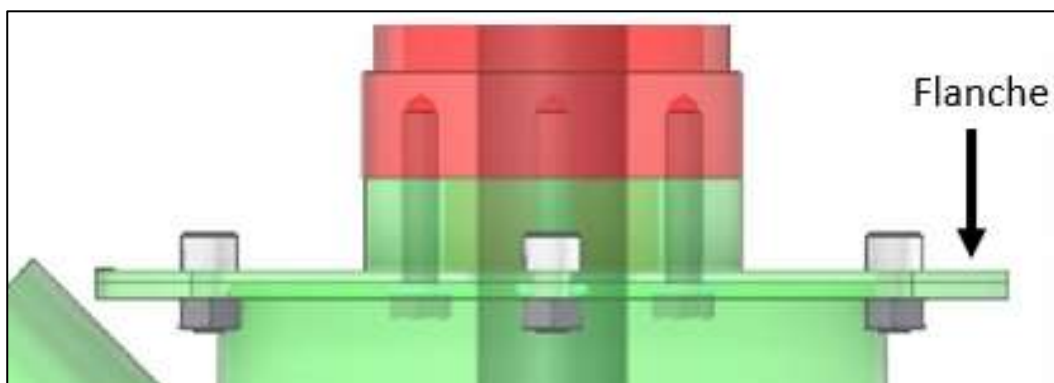
Estos elementos se eligieron considerando la cantidad de carga que van a soportar, además de ser los elementos que más tienen contacto con el cilindro hidráulico. Una vez definido el tipo de material de fabricación, se define un límite de fluencia de 235 MPa en el acero inoxidable 310 y 207 MPa en acero al carbono SAE

1020 (Para mayor detalle ver anexo 3 y 5) en el desarrollo del análisis correspondiente.

5.3.6.i. Flanche de sujeción. Este primer elemento corresponde al flanche el cual se sujeta el cilindro hidráulico para realizar la compresión al material como se ve en la figura 105, este elemento debe soportar el peso del cilindro hidráulico y la presión que ejerce el pistón a el material, para efectos de simulación de elementos finitos, se utilizara la presión máxima que puede ejercer el cilindro hidráulico, entendiendo que esta presión NO corresponde a la presión de operación del dispositivo.

Figura 105.

Unión de flanche de cilindro hidráulico a cámara de carga



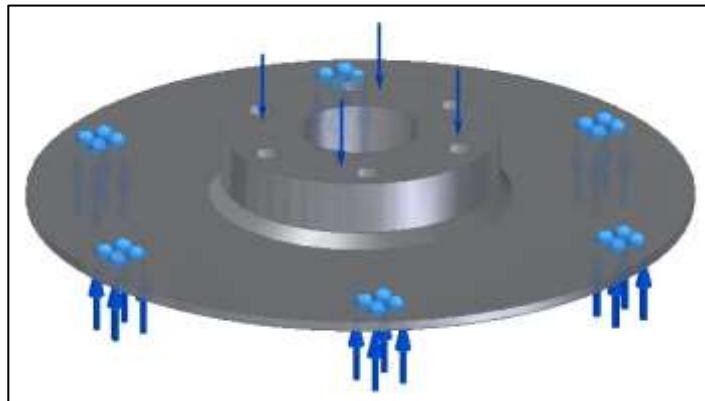
Nota. La figura muestra los elementos unidos mediante pernos y tuercas, señalando el flanche al cual se le realizara el análisis de elementos finitos.

- ✓ Peso del cilindro hidráulico = 19,5 kg
- ✓ Fuerza con respecto al peso = 191.29 N
- ✓ Presión de pistón = 200 Bar = 20 MPa.

Una vez definidas las cargas, se aplican las restricciones correspondientes en las zonas de la tornillería donde se puede presentar un desprendimiento y se ubican las cargas como se ve en la figura 106.

Figura 106.

Ubicación de cargas y restricciones.

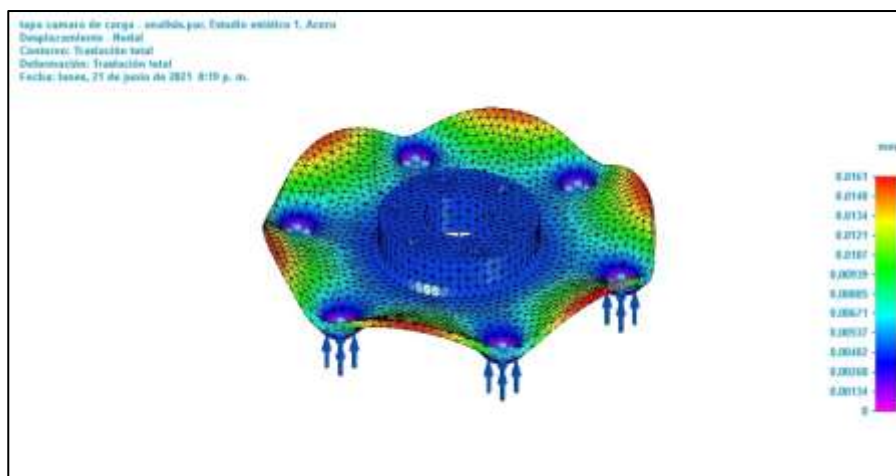


Nota. La figura muestra las cargas aplicadas en la zona de los pernos.

Al posicionar las cargas, se realiza el análisis por elementos finitos obteniendo resultados sobre desplazamiento nodal, esfuerzos resultantes y factor de seguridad:

Figura 107.

Desplazamiento nodal flanche de sujeción.

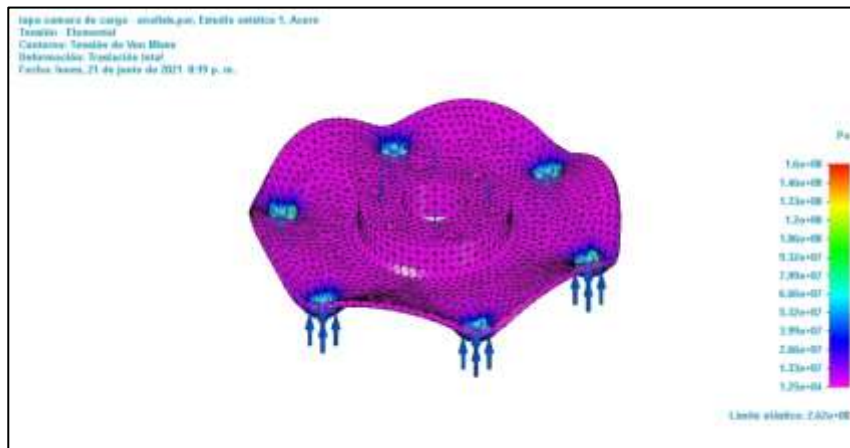


Nota. La figura muestra el desplazamiento nodal en el elemento, describiendo una escala de colores desde morado (menor desplazamiento) hasta el rojo (Mayor desplazamiento).

El primer resultado que se obtiene corresponde al desplazamiento nodal, en la figura 107, se observa la ubicación del desplazamiento nodal máximo respecto a las cargas propuestas, en este elemento el desplazamiento máximo corresponde a 0,0161 mm lo cual indica que no es un desplazamiento considerable y se considera adecuado para el diseño estructural.

Figura 108.

Esfuerzos resultantes flanche de sujeción.

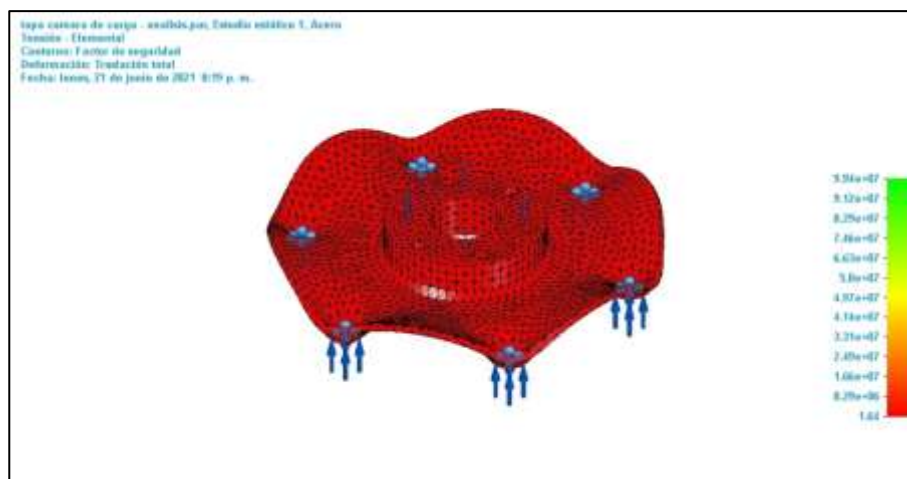


Nota. La figura muestra los esfuerzos resultantes en el elemento, describiendo una escala de colores desde morado (menor esfuerzo) hasta el rojo (Mayor esfuerzo).

El segundo resultado que se obtiene corresponde a los esfuerzos resultantes, en este podemos observar que el esfuerzo máximo se presenta en la zona de las restricciones, obteniendo un esfuerzo máximo de 160MPa, Al compararlo con el esfuerzo de fluencia del material de 235 MPa, se determina que se encuentra por debajo lo cual indica que el diseño es adecuado para sostener los elementos y soportar la carga máxima ejercida por el cilindro hidráulico.

Figura 109.

Factor de seguridad flanche de sujeción.



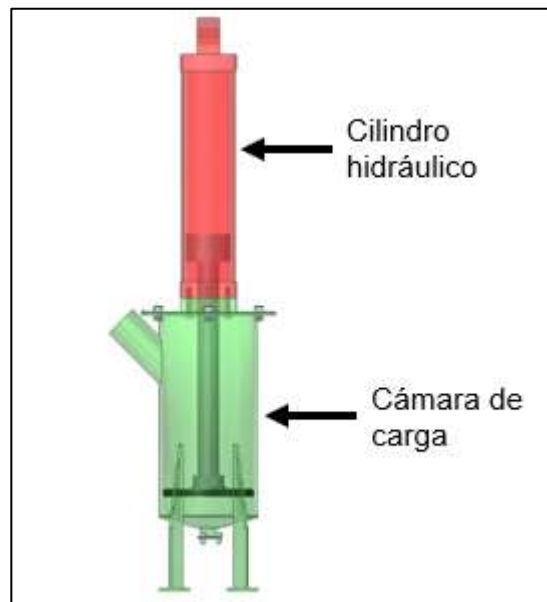
Nota. La figura muestra el factor de seguridad en el elemento, describiendo una escala de colores desde rojo (factor de seguridad mínimo) hasta el verde (factor de seguridad máximo).

Por último, se obtiene el valor del factor de seguridad mínimo correspondiente a 1.64, lo cual indica que es un valor adecuado para el diseño del elemento al estar por encima de 1.5, de igual manera, al aplicarse la presión de operación, el factor de seguridad incrementara su valor.

5.3.6.ii. Cámara de carga. El segundo elemento por analizar corresponde a la cámara de carga, este elemento debe soportar el peso del cilindro en los elementos de apoyo diseñados, además debe soportar la presión de operación del cilindro hidráulico como se ve en la figura 110, pero debido a que esta es tan baja, se utilizara la presión máxima generada por el cilindro hidráulico para analizar la presión dentro de la cámara de carga.

Figura 110.

Cámara de carga.



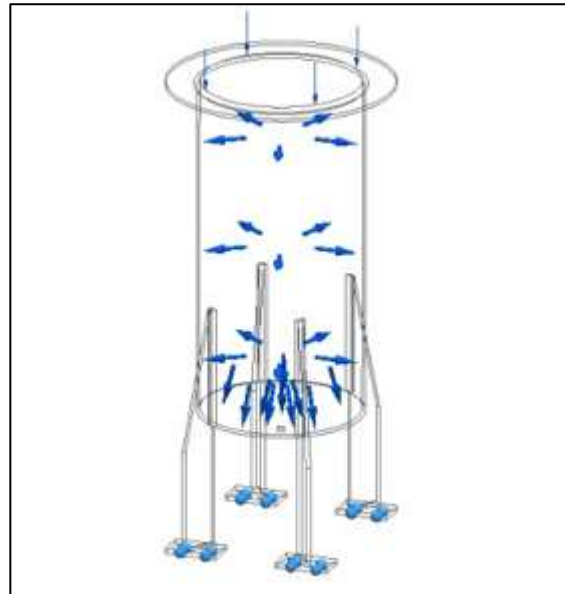
Nota. La figura muestra las cargas que debe soportar la cámara de carga.

- ✓ Cilindro hidráulico = 19.5 Kg
- ✓ Tornillería (aproximado) = 0.5 Kg
- ✓ Pistón = 11.3 Kg
- ✓ Embolo = 5 Kg
- ✓ Flanche de sujeción = 4.5 Kg
- ✓ Masa total = 40,8 Kg
- ✓ Fuerza con respecto al peso = 399.84 Kg
- ✓ Presión = 200 Bar = 20 MPa

Al definir las cargas, se posicionan en el elemento como se ve en la figura 111, aplicando las restricciones en las uniones atornilladas, obteniendo resultados de desplazamiento nodal, esfuerzos resultantes y factor de seguridad.

Figura 111.

Ubicación de cargas cámara de carga

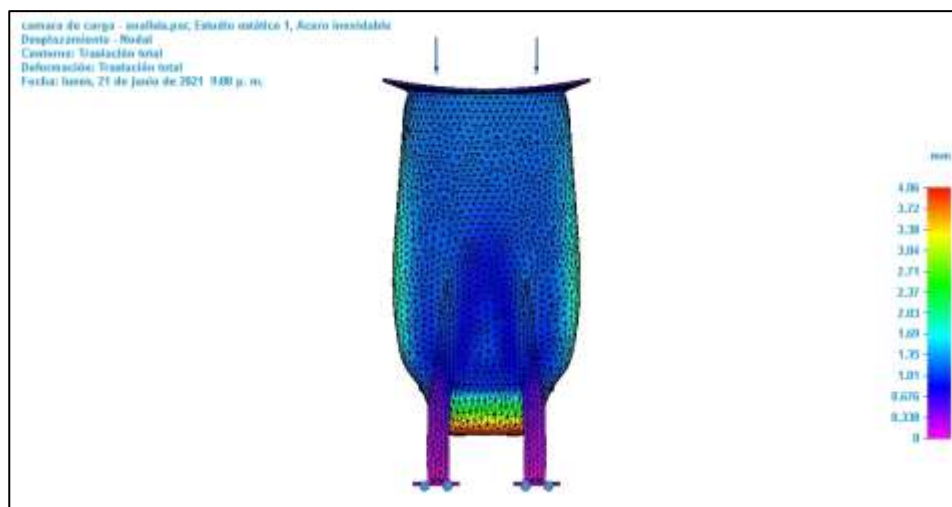


Nota. La figura muestra la ubicación de las cargas y las restricciones aplicadas.

Al posicionar las cargas, se realiza el análisis de elementos finitos obteniendo los siguientes resultados:

Figura 112.

Desplazamiento nodal cámara de carga.

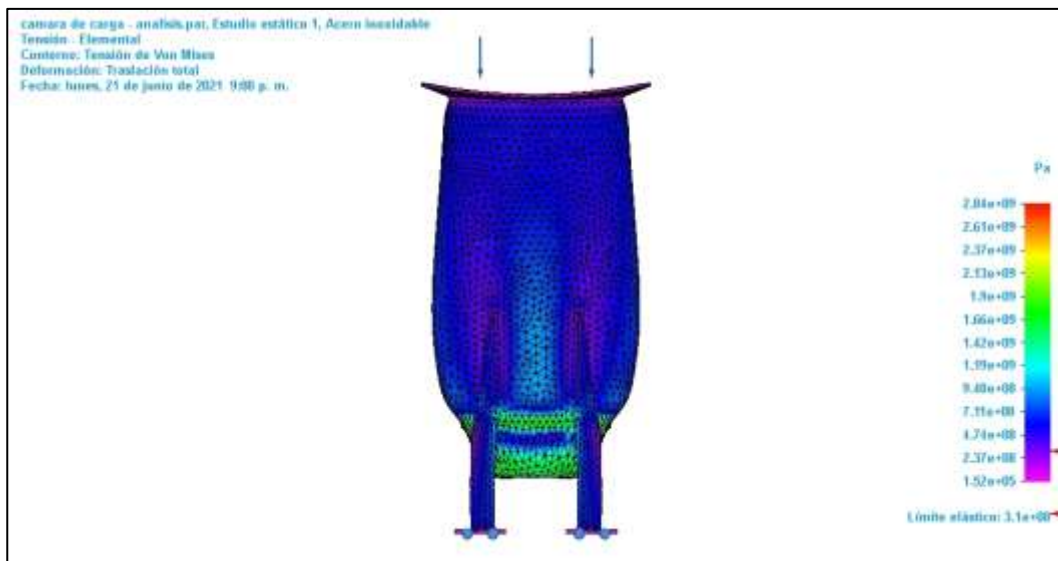


Nota. La figura muestra el desplazamiento nodal en el elemento, describiendo una escala de colores desde morado (menor desplazamiento) hasta el rojo (Mayor desplazamiento).

En la figura 112 se puede observar el desplazamiento máximo con un valor de 4.06 mm en la parte inferior de la cámara de carga exactamente en el cono y presenta una ligera expansión en el cuerpo del cilindro, estructuralmente los elementos de apoyo no presentan deformación considerable a lo que se considera que, a presión de operación, la estructura va a soportar las cargas aplicadas, por lo tanto, se concluye que el diseño de la cámara de carga es adecuado.

Figura 113.

Esfuerzos resultantes cámara de carga.

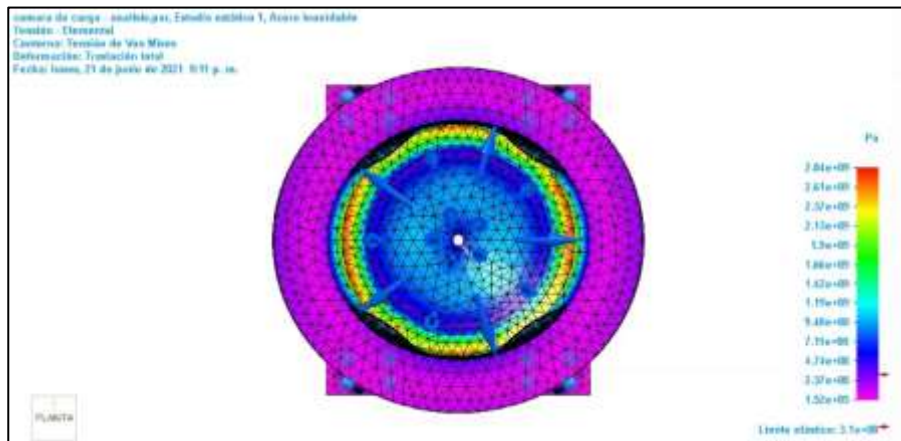


Nota. La figura muestra los esfuerzos resultantes en el elemento, describiendo una escala de colores desde morado (menor esfuerzo) hasta el rojo (Mayor esfuerzo).

En la figura 113 podemos observar los esfuerzos resultantes en la cámara de carga los cuales indican que a presión máxima del cilindro hidráulico se presentaría una falla principalmente expandiendo la zona del cono y el cuerpo de la cámara de carga, en la figura 114 se puede obtener una mejor vista del análisis, lo anterior indica que es importante restringir el uso del cilindro hidráulico. De igual manera, a presión de operación se puede deducir que la cámara de carga soportara las cargas y presiones aplicadas, determinando un diseño adecuado para el elemento.

Figura 114.

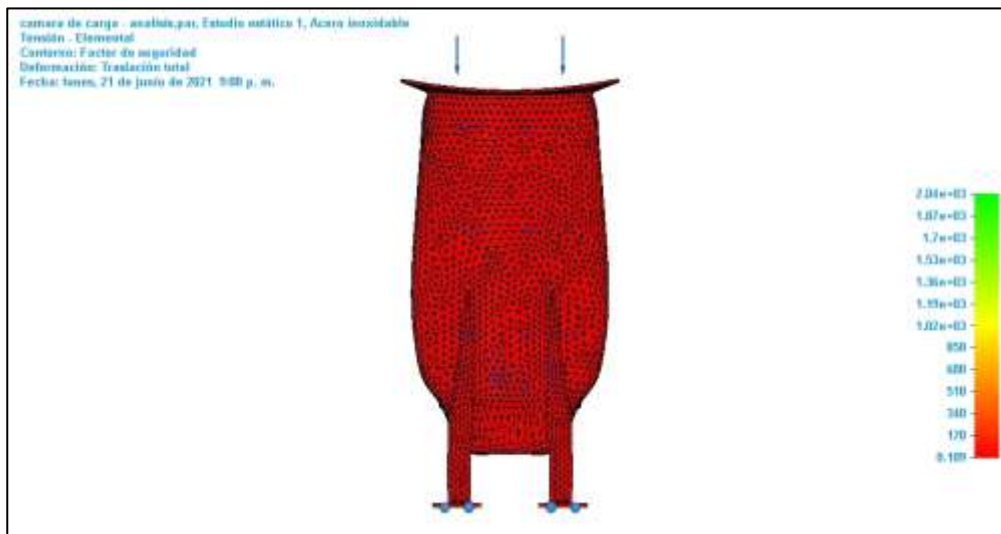
Esfuerzos resultantes cámara de carga vista superior.



Nota. La figura muestra los esfuerzos resultantes en el elemento en una vista superior, describiendo una escala de colores desde morado (menor esfuerzo) hasta el rojo (Mayor esfuerzo).

Figura 115.

Factor de seguridad cámara de carga.



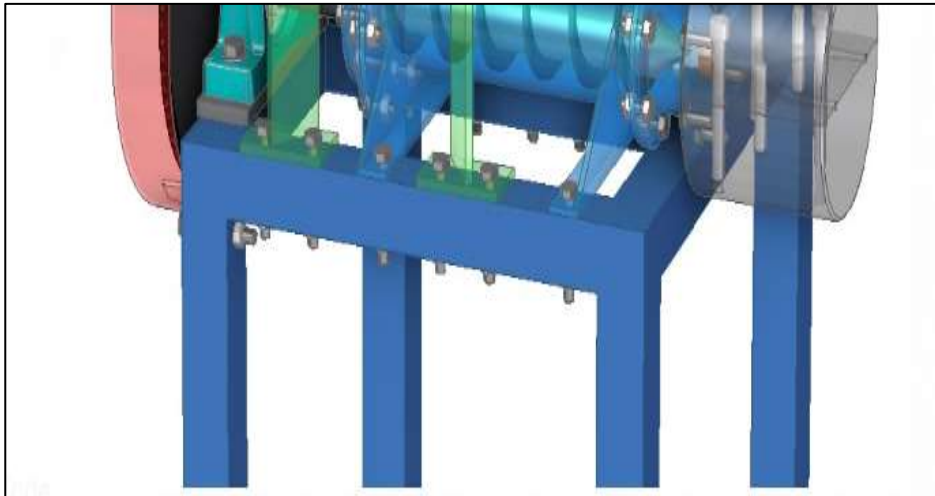
Nota. La figura muestra el factor de seguridad en el elemento, describiendo una escala de colores desde rojo (factor de seguridad mínimo) hasta el verde (factor de seguridad máximo).

Por último, se obtienen los resultados de factor de seguridad para la cámara de carga, de igual manera que en análisis anterior, se determina un valor bajo correspondiente a 0.109 utilizando la presión máxima del pistón, a presión de operación, el valor del factor de seguridad aumentara considerablemente, concluyendo que el diseño de la cámara de carga que aceptable.

5.3.6.iii. Estructura: Para ubicar los sistemas de abastecimiento y Extrusion se diseña una estructura en forma de mesa la cual además de soportar las cargas ejercidas por los pesos de los sistemas, permita darle una altura para que el operario pueda abastecer fácilmente el dispositivo y recoger los cordones de silicona para su posterior almacenamiento, la estructura tiene la siguiente forma (Para mayor detalle ver el plano 30).

Figura 116.

Estructura de apoyo.



Nota. La figura muestra el diseño de la estructura o mesa de trabajo.

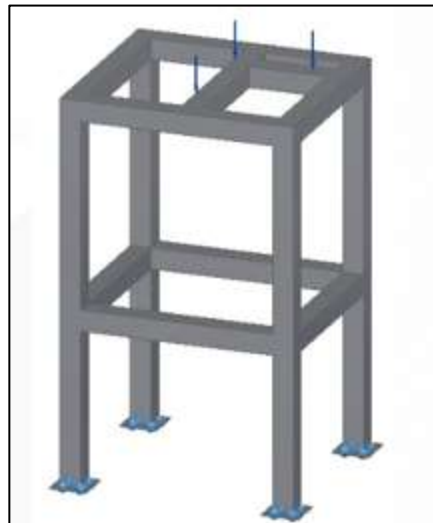
Esta estructura deberá soportar las cargas ejercidas por el sistema de abastecimiento y el sistema de Extrusion definidas a continuación:

- ✓ Sistema de abastecimiento = 54 Kg
- ✓ Material abastecido = 9 Kg
- ✓ Sistema de Extrusion = 22 Kg
- ✓ Peso total = 85 Kg
- ✓ Fuerza con base al peso = 833,85 N

Al determinar la carga que debe soportar la estructura, se ubican en la estructura aplicando las restricciones correspondientes en los apoyos o patas de la mesa como se ve en la figura 117.

Figura 117.

Cargas aplicadas estructura.

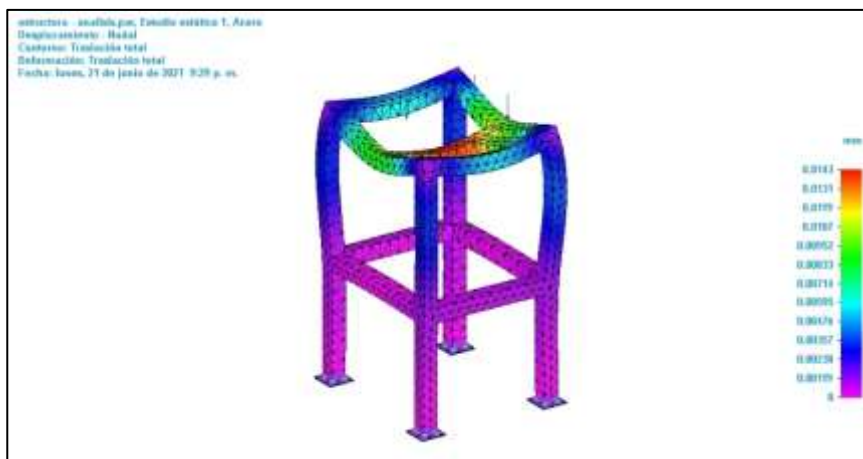


Nota. La figura representa la ubicación de las cargas que debe soportar la estructura y las restricciones aplicadas en las patas.

Posteriormente se realiza el análisis por elementos finitos obteniendo los resultados correspondientes:

Figura 118.

Desplazamiento nodal estructura.



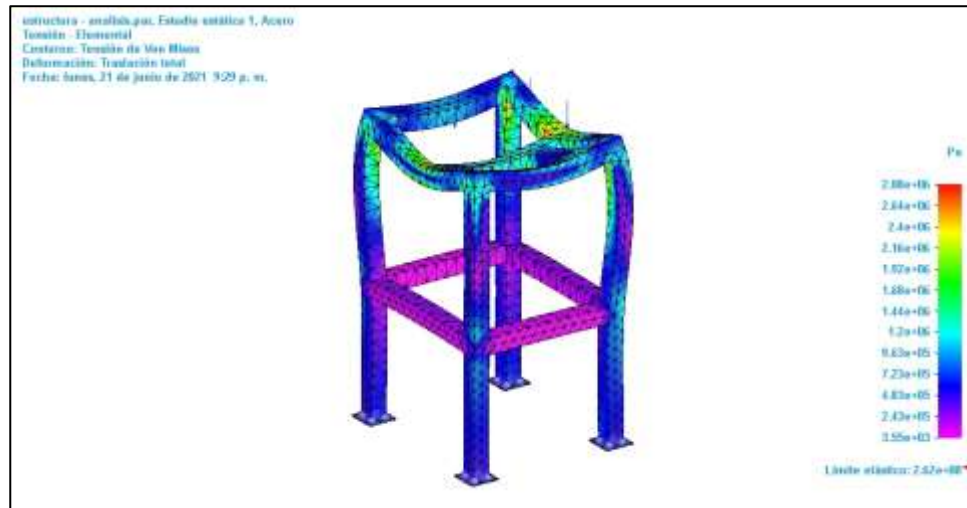
Nota. La figura muestra el desplazamiento nodal en el elemento, describiendo una escala de colores desde morado (menor desplazamiento) hasta el rojo (Mayor desplazamiento).

De la figura anterior, podemos definir un desplazamiento nodal máximo en la zona central de la estructura resaltada en color rojo con un valor de 0.0143 mm, este valor no es considerable, podemos observar además que la estructura de apoyo en la parte

inferior proporciona rigidez a la estructura, definiendo el diseño como adecuado para soportar las cargas mencionadas.

Figura 119.

Esfuerzos resultantes estructura.



Nota. La figura muestra los esfuerzos resultantes en el elemento, describiendo una escala de colores desde morado (menor esfuerzo) hasta el rojo (Mayor esfuerzo).

En la figura observamos los esfuerzos resultantes al aplicar la carga mencionada, obteniendo un esfuerzo máximo de 2.88 MPa, al comparar este valor con el esfuerzo de fluencia del material 262 MPa observamos que está muy por debajo, concluyendo que el diseño de la estructura es aceptable para sostener los sistemas de abastecimiento y Extrusión.

Figura 120.

Factor de seguridad estructura.



Nota. La figura muestra el factor de seguridad en el elemento, describiendo una escala de colores desde rojo (factor de seguridad mínimo) hasta el verde (factor de seguridad máximo).

Por último, se determina un valor de 90.9 de factor de seguridad, este valor se encuentra muy por encima del factor de seguridad determinado en el proyecto, a lo cual se considera adecuado el diseño.

5.4 MANUALES

5.4.1 Manual de operación

Figura 121.

Dispositivo extrusor automático.



Nota. La figura muestra la representación gráfica de la maquina diseñada en este proyecto, enseñando sus sistemas acoplados y ubicados.

El dispositivo automático para la extrusión de perfiles en silicona para empaques de olla a presión con capacidad de abastecimiento de 9 Kg de caucho de silicona y una producción diaria de 600 cordones de silicona de referencia 1, 360 cordones de referencia 2 y 300 cordones de referencia 3, y un área de trabajo de 2.5 metros de largo por 1.5 metros de ancho y 2 metros de alto.

5.4.1.i Capacidad de extrusión:

Tabla 24.

Capacidad de extrusión.

Ref. cordón de silicona.	Cantidad	Tiempo de puesta a punto	Tiempo de extrusión	Tiempo total De proceso
1	600	1 hora	1.69 horas	2.69 horas
2	360	1 hora	1.64 horas	2.64 horas
3	300	1 hora	1.83 horas	2.83 horas

Nota. El tiempo de puesta a punto se determina mediante la velocidad de avance determinada en el proyecto, para disminuir este tiempo, es necesario activar la maquina en modo manual y activar el interruptor de avance del pistón, generando una mayor velocidad para este proceso.

- ✓ Capacidad máxima de la cámara de carga: 9 kilogramos (Kg)
- ✓ Área de trabajo: 2.5 m x 1.5 m x 2 m

Al definir la capacidad de extrusión y una vez definidos los elementos que consumen energía, se debe realizar el cálculo del consumo eléctrico que producen los elementos seleccionados, las cuales se definen mediante la siguiente tabla:

Tabla 25.

Consumo eléctrico.

Elemento	Cantidad	Tiempo de trabajo	Consumo unitario	Consumo total
Motor monofásico (3 Hp)	2	2.83 horas	6 kWh	36 kWh
Variador de frecuencia	2	2.83 horas	4.5 kWh	27 kWh
PLC Logo	1	2.83 horas	0.06 kWh	0.18 kWh
Sensor capacitivo	2	2.83 horas	0.02 kWh	0,12 kWh
Sensor magnético	5	2.83 horas	0,02 kWh	0,3 kWh
Electroválvulas	3	2.83 horas	0.29 kWh	2.61 kWh

Nota. La tabla anterior muestra la sumatoria del consumo de los elementos que intervienen en el dispositivo automático.

Al realizar la sumatoria entre el consumo total de cada elemento, se obtiene una cantidad de 66.21 kWh, en una jornada de 3 Horas diarias. En Colombia, el kilovatio hora (kWh) tiene un precio de 420, a lo cual el consumo que se determino anteriormente tendría un costo de 27,808.2 COP diarios para la empresa.

5.4.1.ii Funcionamiento del equipo. A continuación, se describe la operación del dispositivo para la extrusión de perfiles de silicona, es indispensable leer el manual antes de operar la máquina.

5.4.1.ii.a. Advertencias. La empresa debe asegurar que el operario alimente el sistema de abastecimiento con el material caucho de silicona, bajo las recomendaciones de seguridad industrial propuestas por el ARL.

La empresa se debe asegurar que el operario o cualquier persona que lo requiera lea el manual de operación antes de manipular el dispositivo automático de extrusión de cordones de silicona, evitando un mal uso el cual puede ocasionar daños en los elementos descritos anteriormente.

5.4.1.ii.b Encendido de la maquina. El operario debe realizar una inspección visual antes de encender la maquina asegurándose que los elementos automatizados se encuentren en su posición inicial y no hallan elementos externos que interfieran en el proceso de extrusión teniendo en cuenta indicadores como; revisar conexiones de mangueras hidráulicas y neumáticas, correcto funcionamiento de bomba de hidráulico, correcto funcionamiento del compresor de suministro de aire, revisar la lubricación en el sistema de transmisión piñón-cadena, indicadores eléctricos y el encendido de los breakers (4) que permiten el paso de energía.

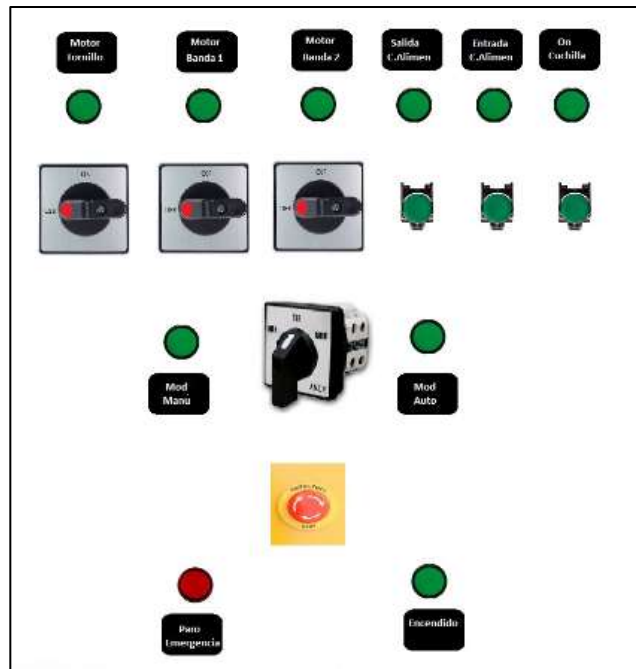
5.4.1.ii.c. Preparación de la maquina. Una vez realizada la inspección mencionada anteriormente, el operario debe asegurarse activar el selector de muletilla en la zona de trabajo manual fijándose si el indicador de luz se enciende, y activar los pulsadores para garantizar su correcto funcionamiento, ubicando el cilindro hidráulico en su posición inicial, verificando que el pulsador del cilindro neumático accione la cuchilla de corte y los motores de las bandas transportadoras y el husillo respondan a la señal, en este punto, el operario puede alimentar el sistema de abastecimiento.

5.4.1.ii.d. Operación automática. Para operar la maquina automáticamente, el operario debe haber abastecido la máquina para el proceso de extrusión en la posición manual o cero del selector de muletilla, posteriormente debe asegurarse de cambiar de posición el selector de muletilla a automático encendiéndose el indicador de luz

correspondiente, en este punto se activa la secuencia diseñada para trabajo automático como se ve en el plano definiendo el tablero de control de la figura 122.

Figura 122.

Tablero de control.



Nota. La figura muestra el posicionamiento de los interruptores, pulsadores e indicadores para cada función descrita

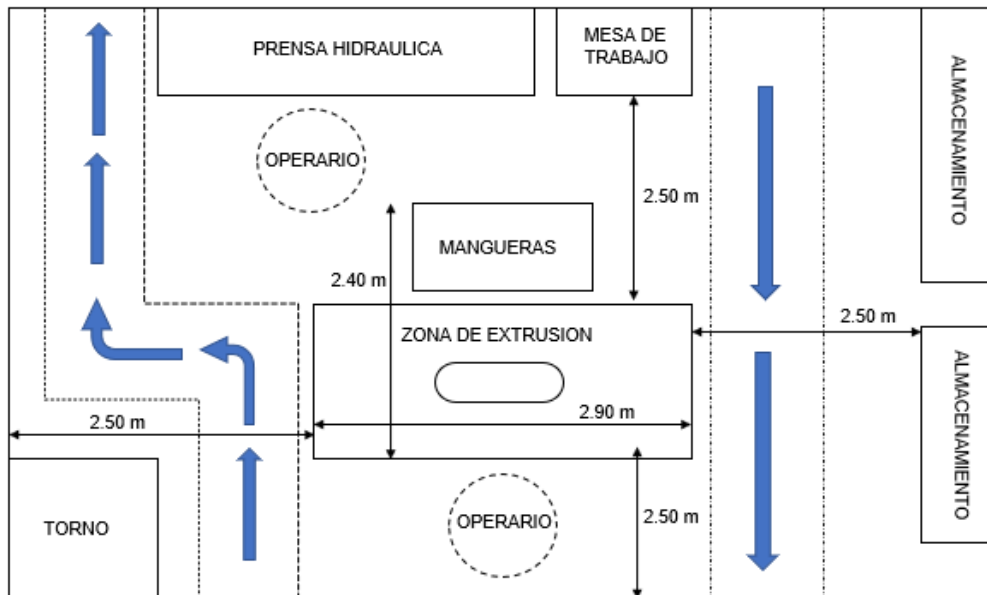
5.4.1.ii.e Paro de emergencia. En caso de presentarse alguna emergencia, se debe activar un interruptor de tipo hongo denominado STOP como se ve en la figura 122, al obturar este la válvula del cilindro hidráulico retorna a su posición inicial impidiendo el paso del hidráulico en ambas direcciones, bloqueando el sistema para que no se presenten descompresiones en el sistema, de igual manera se desactivan los motores. Una vez se soluciona el percance, se debe llevar a la posición inicial los cilindros hidráulico y neumático para dar inicio al proceso automático.

5.4.2 Manual de ensamble

El dispositivo automático para la extrusión de perfiles de silicona se sitúa en un área de trabajo correspondiente a la figura 123, garantizando el espacio suficiente para el montaje.

Figura 123.

Espacio disponible para el montaje de la máquina.



Nota. La figura muestra el espacio disponible con respecto a los otros elementos en la planta, determinando caminos de paso de personal con las flechas azules.

- ✓ Altura: 550 centímetros.
- ✓ Ancho: 290 centímetros.
- ✓ Profundidad: 490 centímetros.

La carga equivalente del dispositivo se encuentra ubicada sobre la mesa de trabajo o estructura mencionada en la **sección 5.3.6.**, esta mesa de trabajo tiene las siguientes dimensiones:

- ✓ Altura:
- ✓ Ancho:
- ✓ Profundidad:

Para el ensamble de la máquina, será necesario seguir el orden mencionado a continuación.

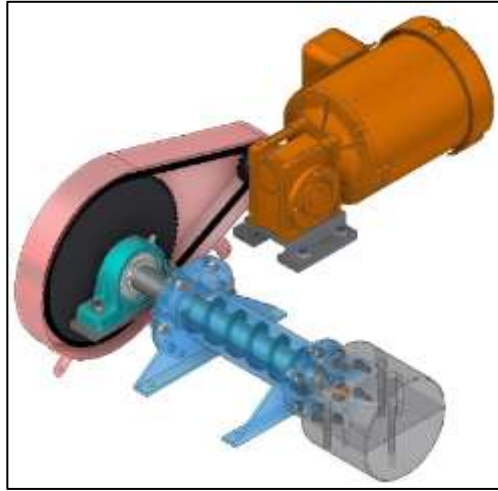
1. Ubicación de estructura de apoyo (Mesa):

La estructura debe ubicarse al lado izquierdo de la zona de Extrusión, asegurando el espacio para las bandas transportadoras, debe ser fijada al suelo.

2. Sistema de Extrusion:

Figura 124.

Sistema de extrusión.

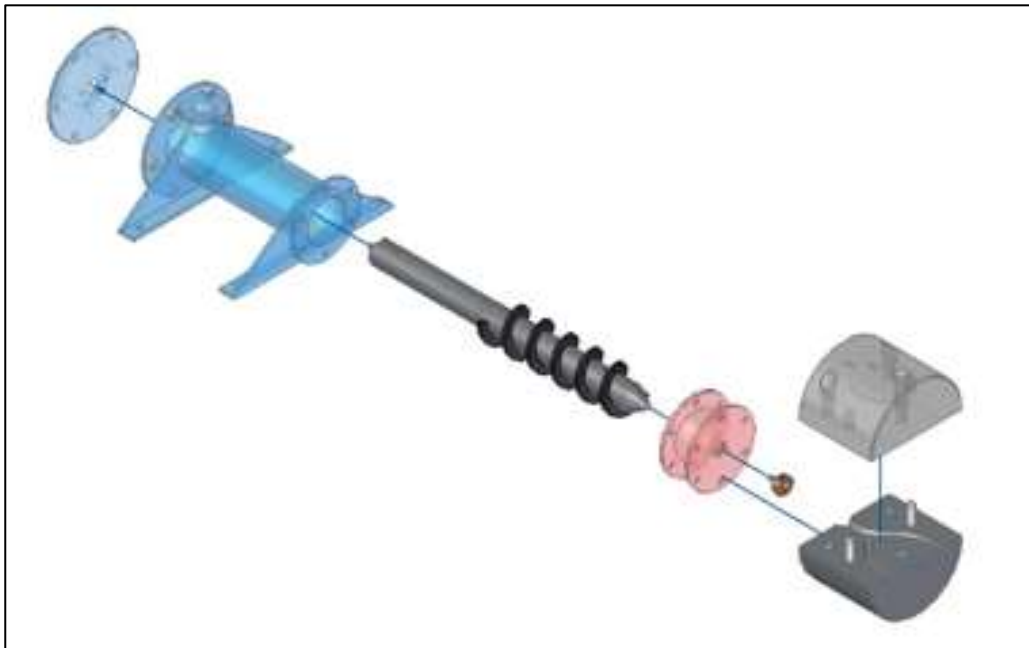


Nota. La figura muestra el esquema del sistema de Extrusion y los elementos que lo componen.

El sistema de extrusión lo compone el barril, el husillo, boquilla de compresión, molde de Extrusion, rodamientos, sistema de transmisión piñón cadena, caja reductora y motor como se ve en la figura 125.

Figura 125.

Despiece Sistema de extrusión.

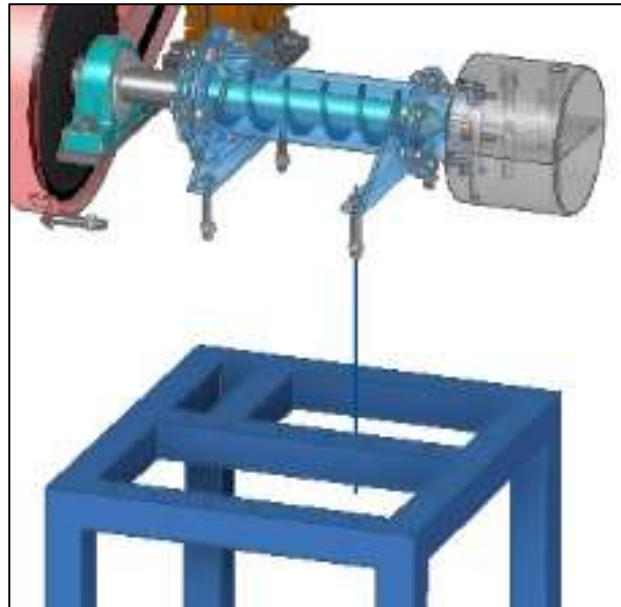


Nota. La figura muestra las piezas separadas en plano explosionado.

El ensamble inicia ubicando y fijando el barril como se ve en la figura 126, posteriormente se posiciona el eje y el usillo, ajustando los rodamientos de apoyo y transmisión, posteriormente se ubica el sistema de transmisión.

Figura 126.

Sujeción del barril a la estructura

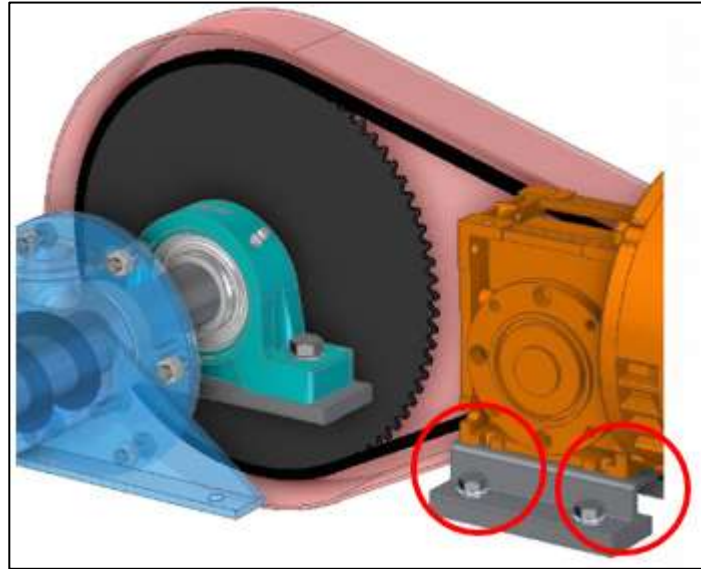


Nota. La figura muestra la guía que se debe seguir para ubicar y ajustar el barril.

El sistema de transmisión se ubica primeramente el montaje de la caja reductora y el motor, fijando los elementos a la mesa, posteriormente se instalan los piñones conductores, por último, el guarda cadena ajustándolo a la mesa igualmente. En el ajuste de la caja reductora, existen unas correderas de ajuste las cuales permitirán ajustar la tensión de la cadena de transmisión como se ve en la figura 127.

Figura 127.

Sujeción de correderas para cadena.



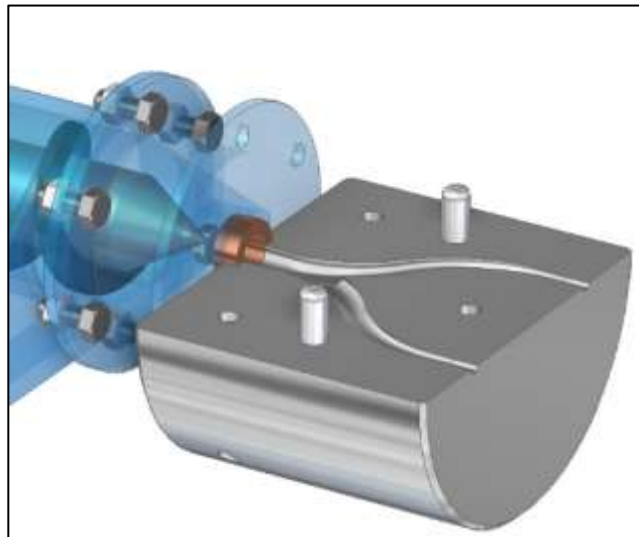
Nota. La figura muestra la ubicación de las correderas para lograr la correcta tensión de la cadena.

Por último, se acopla la boquilla de compresión al barril, luego el molde de Extrusion mediante la guía del anillo de paso, la función principal de este anillo es crear una unión entre la boquilla y el molde de Extrusion.

en ese orden como se ve en la figura 128.

Figura 128.

Ajuste de boquilla y molde de Extrusion.



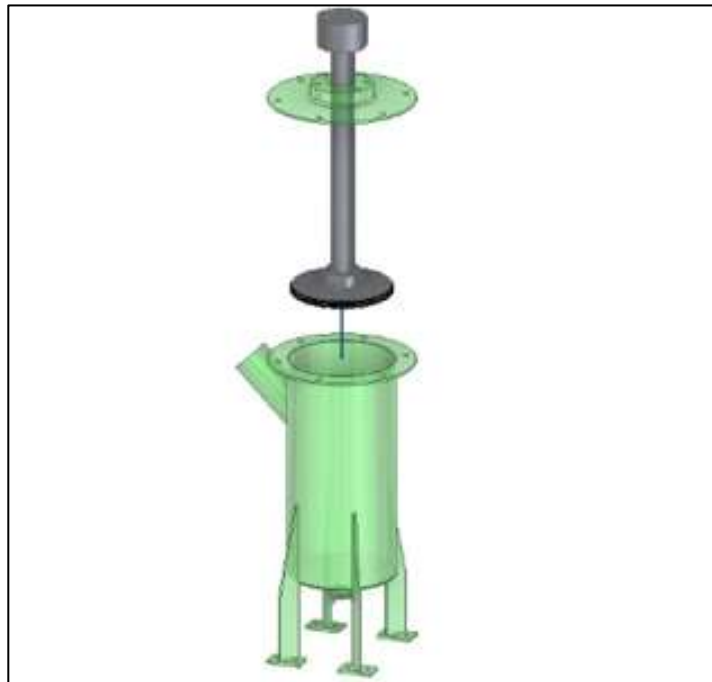
Nota. La boquilla de compresión va fija mediante pernos al barril y al molde de extrusión.

3. Sistema de abastecimiento

El sistema de abastecimiento lo componen el cilindro hidráulico, Pistón, flanches de sujeción, cámara de carga como se ve en la figura 129. Obteniendo posteriormente la tabla de piezas de la figura 130.

Figura 129.

Despiece Sistema de abastecimiento.



Nota. La figura muestra las piezas separadas en plano explosionado

Figura 130.

Listado de piezas sistema de Extrusion.

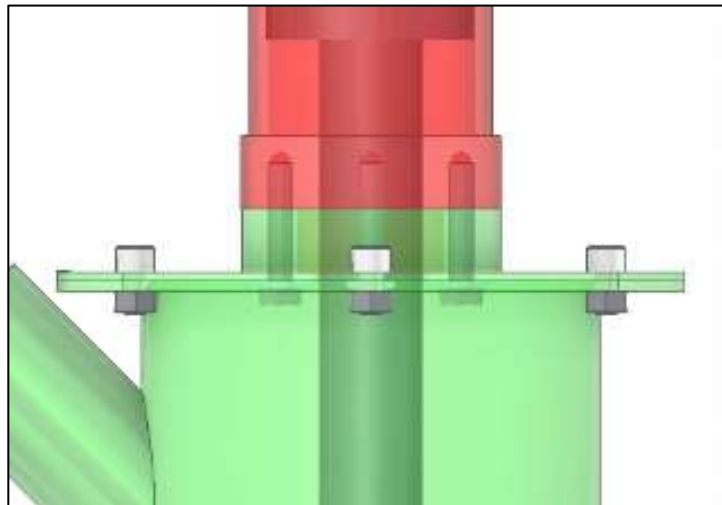
5	Cilindro hidraulico	Acero	1
4	Embolo	Acero inox	1
3	Plato embolo	Acero inox	1
2	Tapa camara de carga	Acero inox	1
1	Camara de carga	Acero inox	1

Nota. La figura muestra el listado de piezas que componen el sistema de abastecimiento.

Luego de posicionar y ajustar el sistema de extrusión, se acopla el cilindro hidráulico a la cámara de carga, unificando estas dos piezas mediante los flanches de sujeción como se ve en la figura 131.

Figura 131.

Ajuste de cilindro hidráulico a cámara de carga.

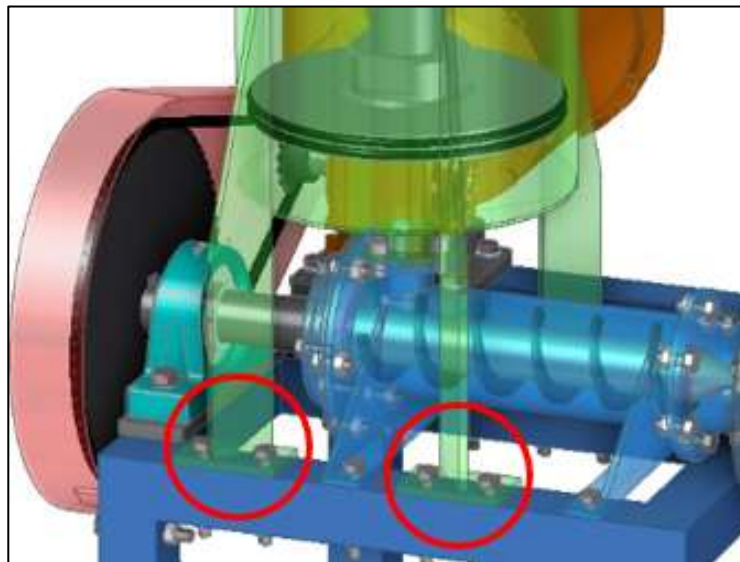


Nota. La figura muestra la ubicación de los pernos de ajuste de los flanches y las perforaciones del cilindro hidráulico.

Posteriormente se ubica la cámara de carga sobre la estructura o mesa, posicionando la boquilla de salida de la cámara de carga a la entrada del barril en el sistema de extrusión y su posterior ajuste como se ve en la figura 132.

Figura 132.

Ajuste de boquilla y molde de Extrusion.



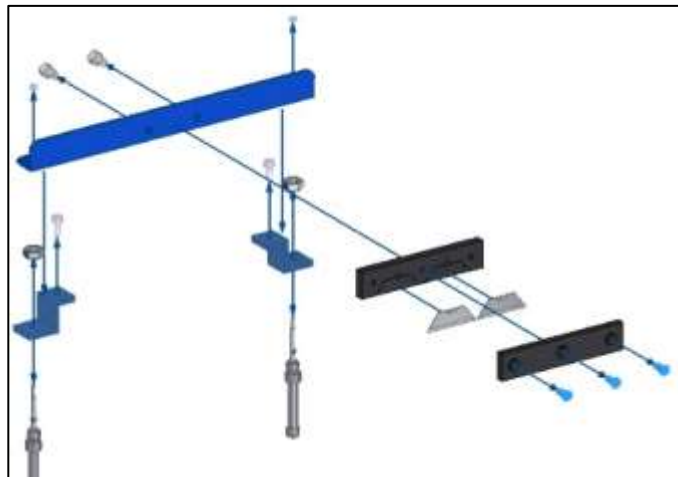
Nota. La figura muestra la ubicación de los pernos de ajuste de la cámara de carga a la estructura.

4. Sistema de arrastre y corte.

El sistema de arrastre y corte se conforma por la cuchilla de corte con su respectivo cilindro neumático, la banda transportadora 1 o banda de arrastre y la banda transportadora 2 o banda separadora como se ve en la figura 133, posteriormente en la imagen 131 se observa la ubicación de la cuchilla de corte con respecto a la banda transportadora 1.

Figura 133.

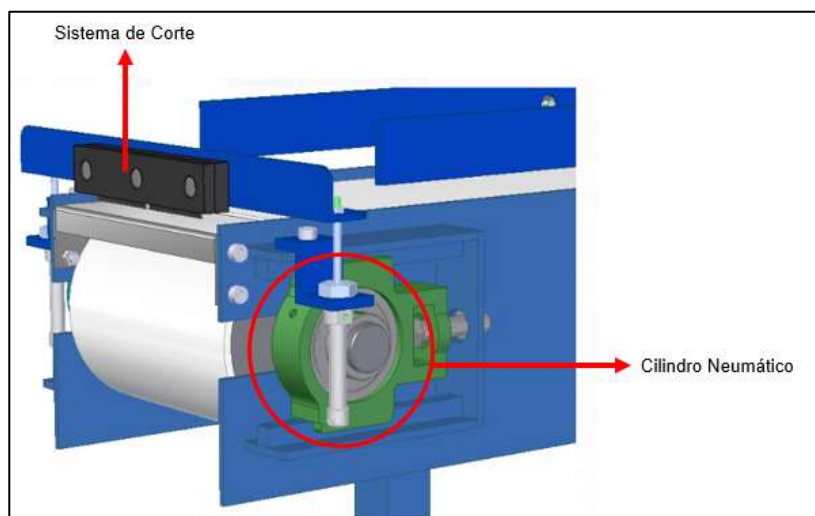
Despiece sistema de arrastre y corte.



Nota. La figura muestra las piezas separadas en plano explosionado.

Figura 134.

Piezas sistema de arrastre y corte.

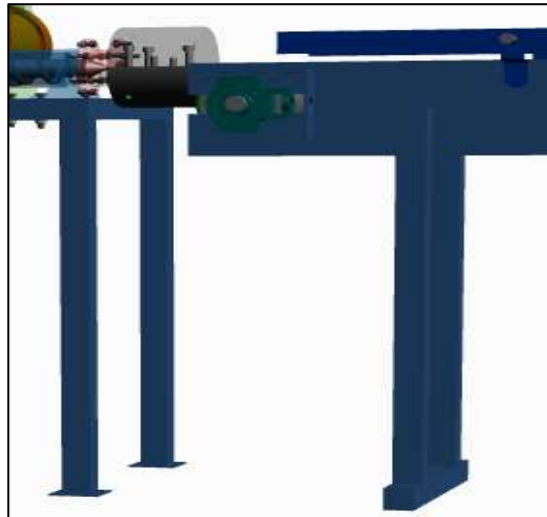


Nota. La figura muestra el listado de piezas que componen el sistema de abastecimiento.

El ensamble del sistema de arrastre y corte inicia ubicando la cuchilla de corte en la posición adecuada, una vez instalada, se posiciona la banda transportadora 1 o banda de arrastre como se ve en la figura 135.

Figura 135.

Ubicación de la banda de arrastre.

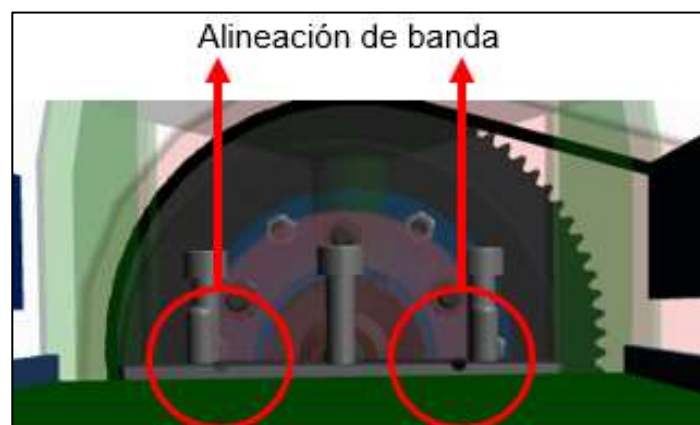


Nota. La imagen muestra la distancia la cual debe estar separada la banda transportadora y la ubicación cerca al molde.

Una vez posicionada, se debe realizar una alineación de esta banda transportadora a la salida del molde de Extrusión, garantizando que los cordones no vayan a desviarse al momento de salir del molde como se ve en la figura 136.

Figura 136.

Alineación banda de arrastre.



Nota. La imagen muestra la distancia la cual debe estar separada la banda transportadora y la ubicación cerca al molde.

5.4.3 Manual de mantenimiento

Para garantizar el correcto funcionamiento y la vida útil del dispositivo automático para la extrusión de perfiles en silicona es necesario desarrollar el manual de mantenimiento disminuyendo los tiempos de parada por fallas. A continuación, se relacionan las actividades las cuales deben ser realizadas de acuerdo a una rutina basada en la limpieza, ajuste e inspección, esto garantizará el correcto funcionamiento de la máquina.

El manual tiene como fin realizar la mayor cantidad de actividades preventivas, evitando el máximo posible de actividades correctivas, se desarrollará de una manera simple de comprender para aumentar la efectividad a la hora de realizar el proceso de mantenimiento.

AVISO. La conservación del manual de mantenimiento y la realización de las actividades preventivas son responsabilidad del propietario de la máquina. Se recomienda el uso de este manual para evitar pérdidas económicas para la empresa o accidentes extremos con consecuencia de lesionados.

En esta sección, se analizarán los 3 sub sistemas desarrollados a lo largo del documento, logrando una mayor comprensión de sus partes permitiendo realizar un mantenimiento de forma adecuada, en la tabla 26 se describen los sub sistemas, la actividad correspondiente, el instrumento para realizar la actividad y la frecuencia.

- ✓ Sistema de abastecimiento: Encargado de llevar el caucho de silicona desde la cámara de carga hasta el sistema de extrusión.
- ✓ Sistema de extrusión: Encargado de recibir el material, transportarlo y comprimirlo hasta la boquilla y posteriormente al molde para el proceso de extrusión.
- ✓ Sistema de arrastre y corte: Encargado de cortar los cordones de silicona, transportarlos y separarlos para la intervención del operario encargado de levantarlos de la banda separadora y ubicarlos en la zona de almacenamiento.

ADVERTENCIA. El desarrollo de las actividades de mantenimiento puede generar lesiones graves si se carece de conocimientos o experiencia necesaria en el manejo de herramienta y equipo adecuado por parte del personal para realizar el trabajo, de ser así, se recomienda la asesoría de personal calificado y capacitado.

Tabla 26.*Actividades de mantenimiento.*

Sub sistema	Unidad	Actividad	Instrumento	Frecuencia
Abastecimiento	Unidad de mantenimiento	Limpieza	Manual	Diario
		Inspección	Visual	Diario
	Cilindro hidráulico	Inspección	Visual	Mensual
		Limpieza	Manual	Mensual
		Cambio	Empaques	Mensual
	Mangueras hidráulico	Inspección	Visual	Diario
		Ajuste	Manual	Semanal
	Cámara de carga	Ajuste	Llaves de apriete y ajuste	Semanal
		Limpieza	Manual	Semanal
	Sensores	Ajuste	Llaves de apriete y ajuste	Mensual
Extrusión y transmisión	Barril	Ajuste	Llaves de ajuste y apriete	Semanal
		Limpieza	Manual	Semanal
	Husillo	Limpieza	Manual	Semanal
		Inspección	Visual	Semanal
	Boquilla	Limpieza	Manual	Semanal
		Inspección	Visual	Semanal
	Molde	Limpieza	Manual	Semanal
		Inspección	Visual	Diario
	Piñones	Inspección	Visual	Diario
		Lubricación	Aceite	Diario
	Cadena	Lubricación	Aceite	Diario
		Temple	Tensor	Mensual
	Sensores	Ajuste	Llaves de apriete y ajuste	Semanal
	Arrastre y corte	Cuchilla de corte	Inspección	Visual
Limpieza			Pistola neumática	Diario

		Lubricación	Aceite	Semanal
	Mangueras neumáticas	Inspección	Visual	Semanal
		Ajuste	Manual	Semanal
	Banda transportadora 1	Inspección	Visual	Diario
		Ajuste	Sincronización	Diario
		Limpieza	Manual	Diario

Nota. La tabla muestra la descripción de las actividades divididas por sistema.

Una vez identificadas las actividades, tiempos y elementos a los cuales será necesario realizar mantenimiento, a continuación, se describen los procedimientos que debe realizar el operario para un correcto mantenimiento.

Tabla 27.

Actividades de inspección.

Componente	Descripción
Unidad de mantenimiento	Verificar nivel de líquidos y desocupar
Cilindro hidráulico	Verificar empaques de embolo y sensores
Mangueras hidráulico	Verificar que no tenga fugas
Husillo	Verificar que no tenga material en el huelgo y punta
Boquilla	Verificar que no tenga cúmulos de material
Molde	Verificar que no tenga acumulación de material
Piñones	Verificar desgaste en los dientes y paso
Mangueras neumáticas	Verificar que no tenga fugas
Cuchilla de corte	Verificar y ajustar filo
Banda 1	Verificar estado de la banda de PVC

Nota. La tabla muestra la descripción de las actividades de inspección con base a cada elemento.

Tabla 28.*Actividades de ajuste.*

Componente	Descripción
Cilindro hidráulico	Verificar ajuste de flanches, racores y abrazaderas.
Mangueras hidráulico	Verificar ajuste de abrazaderas
Cámara de carga	Verificar la cámara este sujeta a la estructura y flanches
Sensores	Verificar ajuste o anclaje
Barril	Verificar que el barril este sujeta a la estructura y flanches
Cadena	Verificar el ajuste y tensión de la cadena.
Mangueras neumáticas	Verificar ajuste de racores y abrazaderas
Banda 1	Verificar sincronización de velocidades

Nota. La tabla muestra la descripción de las actividades de ajuste con base a cada elemento.

Tabla 29.*Actividades de lubricación y cambio.*

Componente	Descripción
Piñones	Lubricar piñón conductor y conducido
Cadena	Lubricar cadena
Cuchilla de corte	Cambio de cuchillas
Rodamiento	Lubricar por la grasera

Nota. La tabla muestra la descripción de las actividades de lubricación y cambio con base a cada elemento.

Tabla 30.*Actividades de limpieza.*

Componente	Descripción
Unidad de mantenimiento	Limpiar vasos de líquidos para observar nivel
Cilindro hidráulico	Limpiar residuos de material alojados en los empaques del embolo
Cámara de carga	Limpiar residuos de material que queden en la boquilla de paso al extruder

Barril	Limpiar cualquier tipo de residuo que quede alojado en la cara interna del cilindro
Husillo	Limpiar cualquier residuo de material que quede alojado en la hélice o huelgo
Boquilla	Limpiar cualquier residuo de material que quede alojado en el cono de la boquilla.
Molde	Limpiar cualquier residuo de material que quede alojado en las cavidades del molde
Cuchilla de corte	Limpiar compuertas y cuchilla de corte.
Banda 1	Limpiar residuos de material que se alojen en la superficie de la banda de PVC

Nota. La tabla muestra la descripción de las actividades de limpieza con base a cada elemento.

Dentro de las actividades propuestas se debe tener en cuenta el cambio de empaques del embolo del cilindro hidráulico, según el material que se escoja, la empresa Global O-ring [36] propone la siguiente tabla representada en la figura 137, se puede observar la vida duración de algunos de los empaques.

Figura 137.

Tabla de duración de empaques.

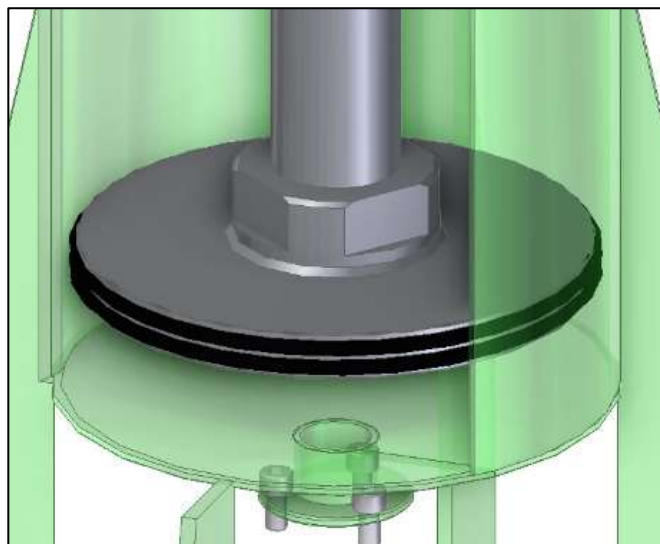
Familia de elastómeros	ASTM	Duración
AFLAS		Ilimitado
Caucho butílico, isobutileno isopreno	IIR	Ilimitado
Cloropreno (neopreno)	CR	15 años
Epiclorhidrina (Hidrina)	ECO	N / A
Etileno Acrílico (Vamac)	AEM	15 años
Poliuretano (poliéster o poliéter)	AU / UE	5 años
Silicona	VMQ	Ilimitado
Estireno butadieno (Buna-S)	SBR	3 años

Nota. La figura muestra la vida útil de algunos empaques con respecto al material de fabricación. **Tomado de:** Global O-Rings and Seal, “Vida útil de la junta tórica,” 2021, [Online]. Disponible: <https://www.globaloring.com/es/o-ring-shelf-life/>.

Aun así, se debe realizar una inspección mensual sobre el estado de los mismos. Los empaques deben corresponder al diámetro del embolo correspondiente a 200 mm, y deben ir ubicados y sujetos en el espesor del mismo como se ve en la figura 138.

Figura 138.

Ubicación de empaques.

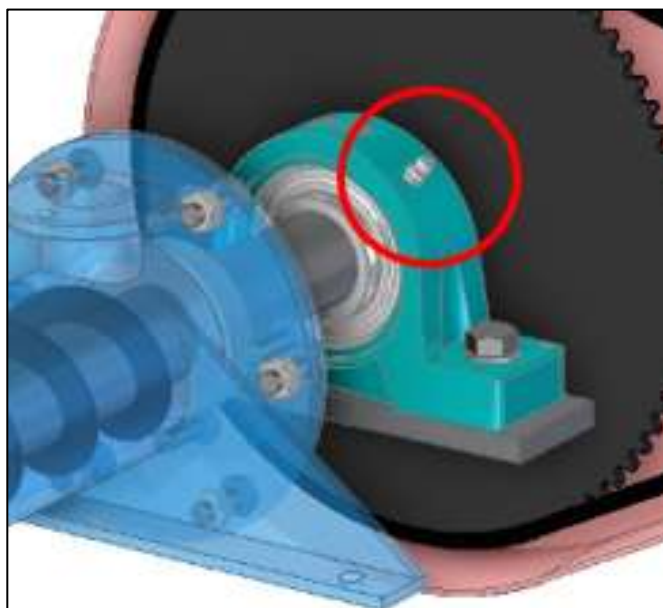


Nota. La imagen muestra la ubicación de los empaques en el embolo.

Otros elementos los cuales se debe realizar un mantenimiento adecuado son los rodamientos. Para el rodamiento de apoyo será necesario realizar una lubricación constante mediante la grasera ubicada en el elemento de apoyo que sujeta la carrera externa de rodamiento como se ve en la figura 139.

Figura 139.

Grasera de rodamiento.



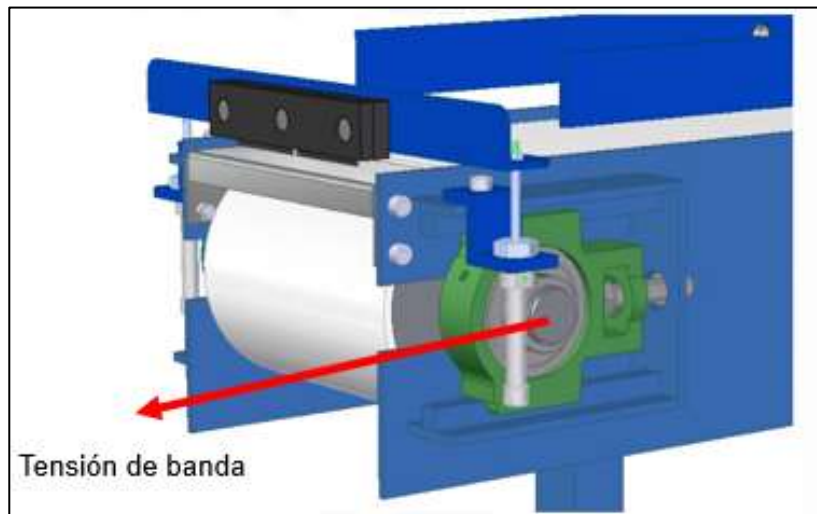
Nota. En la imagen se observa la ubicación de la grasera para este rodamiento.

El segundo rodamiento es de referencia “2Z”, Esta nomenclatura indica que tiene sello fijo en ambos costados y fue lubricado antes de sellarlo, este elemento debe ser necesario cambiarlo después de cumplir su vida útil, para este proyecto se determinó un valor de 3,195 horas de trabajo correspondientes a 1 año y 6 meses, al cumplir este tiempo, será necesario cambiar el rodamiento evitando posibles fallas.

El sistema de arrastre y corte presenta un cambio de cuchillas y tensión de la banda transportadora, para lo primero, es necesario desmontar la porta cuchillas y separarlo de los pistones neumáticos (Se recomienda realizar calibración de pistones neumáticos al momento de cambiar las cuchillas), al cambiar las cuchillas, se posiciona de la misma manera como se ve en la figura 140, de igual manera en este momento es posible realizar tensión para la banda transportadora indicada con la flecha en la figura.

Figura 140.

Posicionamiento de elementos de corte.



Nota. En la imagen se observa la ubicación del sistema de corte sobre la banda transportadora

Se recomienda realizar las actividades de mantenimiento resaltadas anteriormente por personal calificado bajo la norma de seguridad industrial, con supervisión constante por parte del encargado de la planta o gerencia.

Por último, se debe tener en cuenta los elementos básicos que se van a necesitar para realizar el mantenimiento de los diferentes sub sistemas:

- ✓ Sistema de abastecimiento: Debido a que las tareas son principalmente de limpieza y ajuste, se debe realizar una inspección sensitiva que permita mediante una espátula o similar, retirar el exceso de material. En cuanto al ajuste, será necesario utilizar llaves de apriete, destornilladores, pinzas de presión.
- ✓ Sistema de extrusión: En la zona del extruder, es necesario utilizar elementos que permitan retirar el exceso de material, mediante herramientas tipo espátula, en cuanto a los elementos eléctricos, es aconsejable realizar pruebas de corriente mediante un detector de voltaje para verificar el funcionamiento de los elementos como; Motor, variador de frecuencia.
- ✓ Sistema de arrastre: En esta zona, es importante tener en cuenta los elementos neumáticos, mediante una pistola neumática se puede retirar el exceso de material y puede ayudar a limpiar los demás sistemas, además, mediante un paño es necesario retirar las marcas de material que quede en la banda transportado

5.5. Análisis financiero y ambiental

5.5.1 Análisis ambiental

Como responsabilidad ambiental la empresa Nacional de Licuadoras NALIET S.A.S se centra en asegurar acciones contra la disminución de residuos contaminantes los cuales se puedan originar en la fabricación del dosificador automático para la extrusión de perfiles en caucho de silicona, basados en esto es fundamental realizar un análisis ambiental debido a que cualquier proceso industrial, puede traer consecuencias negativas al medio ambiente. Para este proyecto, será necesario evaluarlo en un marco técnico y jurídico, para esto el gobierno ha definido políticas y leyes las cuales controlan la fabricación de máquinas industriales, esto con el fin de mitigar al máximo el impacto ambiental.

Para dar cumplimiento a lo mencionado anteriormente, se evalúa el proyecto de acuerdo al decreto **4741 del año 2005, Capítulo 3, artículo 10** [37], el cual menciona de los “derechos y deberes del generador y de la gestión integral de residuos”, a continuación, se definen los deberes más importantes que debe tener en cuenta la empresa para la fabricación de la máquina.

«

- a. Garantizar la gestión y manejo integral de los residuos o desechos peligrosos que genera;
- b. Elaborar un plan de gestión integral de los residuos o desechos peligrosos que genere tendiente a prevenir la generación y reducción en la fuente, así como, minimizar la cantidad y peligrosidad de los mismos. En este plan deberá igualmente documentarse el origen, cantidad, características de peligrosidad y manejo que se dé a los residuos o desechos peligrosos. Este plan no requiere ser presentado a la autoridad ambiental, no obstante, lo anterior, deberá estar disponible para cuando esta realice actividades propias de control y seguimiento ambiental;
- c. Identificar las características de peligrosidad de cada uno de los residuos o desechos peligrosos que genere, para lo cual podrá tomar como referencia el procedimiento establecido en el artículo 7° del presente decreto, sin perjuicio de lo cual la autoridad ambiental podrá exigir en determinados casos la caracterización físico-química de los residuos o desechos si así lo estima conveniente o necesario;

- d. Garantizar que el envasado o empacado, embalado y etiquetado de sus residuos o desechos peligrosos se realice conforme a la normatividad vigente;
- e. Dar cumplimiento a lo establecido en el Decreto 1609 de 2002 o aquella norma que la modifique o sustituya, cuando remita residuos o desechos peligrosos para ser transportados. Igualmente, suministrar al transportista de los residuos o desechos peligrosos las respectivas Hojas de Seguridad;
- f. Registrarse ante la autoridad ambiental competente por una sola vez y mantener actualizada la información de su registro anualmente, de acuerdo con lo establecido en el artículo 27 del presente decreto;
- g. Capacitar al personal encargado de la gestión y el manejo de los residuos o desechos peligrosos en sus instalaciones, con el fin de divulgar el riesgo que estos residuos representan para la salud y el ambiente, además, brindar el equipo para el manejo de estos y la protección personal necesaria para ello;
- h. Contar con un plan de contingencia actualizado para atender cualquier accidente o eventualidad que se presente y contar con personal preparado para su implementación. En caso de tratarse de un derrame de estos residuos el plan de contingencia debe seguir los lineamientos del Decreto 321 de 1999 por el cual se adopta el Plan Nacional de Contingencia contra Derrames de Hidrocarburos, Derivados y Sustancias Nocivas en aguas Marinas, Fluviales y Lacustres o aquel que lo modifique o sustituya y para otros tipos de contingencias el plan deberá estar articulado con el plan local de emergencias del municipio;
- i. Conservar las certificaciones de almacenamiento, aprovechamiento, tratamiento o disposición final que emitan los respectivos receptores, hasta por un tiempo de cinco (5) años;
- j. Tomar todas las medidas de carácter preventivo o de control previas al cese, cierre, clausura o desmantelamiento de su actividad con el fin de evitar cualquier episodio de contaminación que pueda representar un riesgo a la salud y al ambiente, relacionado con sus residuos o desechos peligrosos;
- k. Contratar los servicios de almacenamiento, aprovechamiento, recuperación, tratamiento y/o disposición final, con instalaciones que cuenten con las licencias, permisos, autorizaciones o demás instrumentos de manejo y control ambiental a que haya lugar, de conformidad con la normatividad ambiental vigente»

Para evaluar en impacto ambiental que puede generar la fabricación de la máquina, se recurre al método de la matriz de impacto EMP, lo cual permitirá encontrar acciones para cada tipo de contaminante permitiendo obtener una calificación destinada a la obtención de un resultado alto, medio o de bajo impacto ambiental, en la figura 141 tomada de la Guía ambiental de la agroindustria de palma de aceite [35], podemos obtener los parámetros para estudio de este proyecto.

Figura 141.

Criterios de evaluación matriz EPM.

CRITERIO	RANGO	VALOR
CLASE	Positivo (+) Negativo (-)	
PRESENCIA	Cierta Muy probable Probable Poco probable No probable	1,0 0,7 0,3 0,1 0,0
DURACIÓN	Muy larga: > de 10 años Larga: > de 7 años Media: > de 4 años Corta: > de 1 año Muy corta: < de 1 año	1,0 0,7 < 1,0 0,4 < 0,7 0,1 < 0,4 0,0 < 0,1
EVOLUCIÓN	Muy rápida: < de 1 mes Rápida: < de 12 meses Media: < de 18 meses Lenta: < de 24 meses Muy lenta: > de 24 meses	0,8 < 1,0 0,6 < 0,8 0,4 < 0,6 0,2 < 0,4 0,0 < 0,2
MAGNITUD	Muy alta: Mr > del 80% Alta: Mr entre 60 y 80% Media: Mr entre 40 y 60% Baja: Mr entre 20 y 40% Muy baja: Mr < del 20%	0,8 < 1,0 0,6 < 0,8 0,4 < 0,6 0,2 < 0,4 0,0 < 0,2
IMPORTANCIA AMBIENTAL	Muy alta: Ca entre 8,0 y 10,0 Alta: Ca entre 6,0 y 8,0 Media: Ca entre 4,0 y 6,0 Baja: Ca entre 2,0 y 4,0 Muy baja: Ca entre 0,0 y 2,0	
CONSTANTES DE PONDERACIÓN		a = 7,0 b = 3,0

Nota. La figura muestra los criterios a tener en cuenta para el desarrollo de la matriz EPM. **Tomado de:** Red por la Justicia Ambiental en Colombia., “Guía ambiental de la agroindustria de palma de aceite.” [Online]. Disponible: <https://redjusticiaambientalcolombia.files.wordpress.com/2012/09/guc3ada-ambiental-para-el-subsector-palma-de-aceite.pdf>.

Para obtener la calificación de la metodología EPM se utiliza la siguiente ecuación la cual está implícita en la matriz.

$$C_a = C * (P * (a * (E * M) + (b * D))) \quad (82)$$

Donde:

- ✓ Ca: Calificación
- ✓ D: Duración
- ✓ M: Magnitud
- ✓ E: Evolución
- ✓ P: Presencia
- ✓ C: Clase o impacto ambiental
- ✓ A = 7,0
- ✓ B = 3,0

Los coeficientes a y b corresponden a la ponderación de los 5 criterios mencionados ando equilibrio a los pesos relativos correspondiente a la suma de 10. A partir de esos criterios, encontramos la importancia de la matriz EPM en la siguiente tabla.

Tabla 31.

Importancia en la matriz EPM.

Importancia	$\leq 2,5$ Poco significativo
	$> 2,5$ a $\leq 5,0$ Moderadamente significativo o moderado
	$> 5,0$ a $7,5$ Significativo y relevante
	$> 7,5$ Muy significativo o grave

Nota. La tabla muestra los valores para asignar el nivel de importancia.

Para el desarrollo de la matriz de impacto ambiental, es necesario describir los criterios mencionados; La clase (C), indica si el impacto ambiental es positivo o negativo, el criterio presencia (P) indica la frecuencia que genera el impacto ambiental del proceso de fabricación de la máquina, la duración (D) indica la duración que tiene la contaminación del proceso de fabricación al medio ambiente, el criterio evolución (E) indica el nivel de reacción de la contaminación, está ligado directamente a la velocidad a la cual se generan las consecuencias de impacto ambiental y la magnitud (M) indica el nivel de gravedad de la fabricación de la máquina. Una vez descritos los criterios, se analizarán las actividades que pueden generar mayor contaminación en el proceso de fabricación.

Tabla 32.

Matriz de impacto ambiental EPM.

IDENTIFICACION DE ASPECTOS E IMPACTOS AMBIENTALES					VALORACION DE IMPACTO						
Etapa	Actividades	Aspecto ambiental	Impacto ambiental	Componente	(C)	(P)	(D)	(E)	(M)	Puntaje	Importancia
Fabricación	Soldadura	Generación de residuos de soldadura, Extensión no larga	Contaminación de suelo	Partículas metálicas	-1	0,30	0,35	0,25	0,40	-0,825	Poco significativo
		Generación de humos por trabajos en metal	Contaminación de aire	Soldadura tipo TIG	-1	0,20	0,35	0,4	0,99	-0,7276	Poco significativo
	Mecanizado	Generación de partículas por viruta	Contaminación de suelo	Viruta del metal mecanizado	-1	0,20	0,4	0,4	0,69	-1.5864	Poco significativo
	Puesta a punto	Generación de residuos riesgosos	Contaminación de suelo	Viruta de elementos de ensamble	-1	1	0,7	0,7	0,4	-4.2212	Moderadamente significativo

Nota. La tabla muestra los resultados con respecto a las actividades de generación de contaminantes.

Concluyendo de la matriz que el impacto ambiental en la fabricación del dispositivo automático para extrusión de perfiles de silicona es positivo, solo se ve afectado el entorno y el suelo debido a la cantidad de material particulado generado en la actividad de soldadura y mecanizado.

5.5.2 Análisis financiero

En este capítulo se realiza el análisis financiero para determinar la viabilidad de este proyecto, a lo cual se compara el costo de operación actual con el costo de operación del proyecto realizado. Será necesario determinar el tipo de peso a evaluar, siendo las posibilidades el peso corriente o el peso constante, para este análisis se utilizará el peso constante indicando que no sufrirá ningún tipo de cambio con la inflación.

El primer indicador a analizar es la inversión de elaboración del dispositivo automático la cual se llevó a cabo mediante cotizaciones de diferentes empresas en la ciudad de Bogotá D.C., obteniendo los resultados demostrados en la tabla 33.

Tabla 33.

Cotización para montaje de la máquina.

TIPO	UNIDAD	VALOR	VALOR TOTAL
Estructura tubería 40x2	1	\$ 150.000	\$ 150.000
Cámara de carga inoxidable	1	\$ 250.000	\$ 250.000
Motorreductor	1	\$ 650.000	\$650.000
Transmisión piñonera y cadena	1	\$ 230.000	\$ 230.000
Rodamiento 1	1	\$ 40.000	\$ 40.000
Rodamiento con flanche	1	\$ 90.000	\$ 90.000
Barril	1	\$ 280.000	\$ 280.000
Boquilla de compresión	1	\$ 180.000	\$ 180.000
Molde	1	\$ 480.000	\$ 480.000
Conjunto Banda transportadora (Motor, Reductor, Transportador y cinta)	1	\$ 6'200.000	\$ 6'200.000
Sistema de corte	1	\$ 120.000	\$ 120.000
Neumática	2	\$ 80.000	\$ 160.000
Logo Siemens	1	\$ 700.000	\$ 700.000
Modulo extra	1	\$ 300.000	\$ 300.000

Sensores magnéticos	5	\$ 40.000	\$ 200.000
Sensores capacitivos	2	\$ 80.000	\$ 160.000
Varios e imprevistos		\$ 500.000	\$ 500.000
TOTAL			\$ 11'290.000

Nota. La tabla muestra Los valores de las cotizaciones realizadas para los elementos que componen la máquina.

Adicional a los costos de montaje, se debe sumar el costo correspondiente a la ingeniera determinando la cantidad de horas que se utilizaron para el desarrollo del proyecto, representado en la siguiente tabla:

Tabla 34.

Costos de ingeniería.

Tipo	Unidad	Cantidad	Valor Unitario	Valor total
Planos	Unidad	30	3.000	\$90.000
Ingeniería	Horas	160	20.000	\$ 3'200.000
TOTAL				\$ 3'290.000

Nota.

Una vez determinados los valores de costos de ingeniería y montaje, se suman determinando el valor total de la inversión de la siguiente manera:

$$\$ 11'290.000 + 3'290.000 = \$ 14'580.000 \quad (83)$$

Al determinar el valor de inversión correspondiente a \$11'290.000 se debe sumar un 10% correspondiente a la puesta a punto de la máquina, este valor es sugerido por la empresa debido a posibles imprevistos que se puedan presentar en el montaje de la máquina, a partir de esta consideración, se realiza la siguiente operación.

$$\$ 15'230.000 * 0.10 = \$ 1'523.000$$

Este valor se suma al valor de inversión obteniendo el valor total de fabricación de la máquina.

$$\$ 15'230.000 + \$ 1'523.000 = \$ 16'753.000$$

En la Tabla 1, se obtienen los datos de ganancia bruta de la empresa Nacional de licuadoras NALIET S.A.S., donde se concluye una ganancia mensual bajo las 3 referencias de empaques a olla a presión en el proceso actual, para la referencia 1 se obtiene una utilidad bruta de \$ 500 por 1 empaque, para la referencia 2 una utilidad

bruta de \$ 600 por empaque y para la referencia 3 \$ 1000 por empaque, obteniendo una ganancia total de \$ 2'030.000.

Al conocer la ganancia bruta actual del proceso, se compara el proceso con el dispositivo automático para la extrusión de cordones de silicona obteniendo la siguiente tabla de resultados según la producción.

Tabla 35.

Comparación ganancia bruta.

Ref.	Proceso actual			Proceso de proyecto		
	Producción día	Producción mes	Ganancia	Producción día	Producción mes	Ganancia
1	150	900	450.000	600	3600	1'800.000
2	150	1300	780.000	360	3240	1'944.000
3	150	800	800.000	300	1500	1'500.000
Total		3,000	2'030.000		8340	5'244.000

Nota. En la tabla se observa la comparación de ganancias entre el proceso actual y el proceso del proyecto.

De la tabla 35 indica primeramente el aumento en la producción al momento de fabricar la maquina propuesta en este proyecto, pasando de una utilidad bruta de \$ 2'030.000 a \$ 5'244.000, aumentando las ganancias en \$ 3'200.000 lo cual representa un aumento en el 158% en las ganancias mensuales.

Al obtener esta utilidad bruta, se determina la cantidad de meses en el cual se podría recuperar la inversión de la fabricación del dispositivo automático, obteniendo un resultado de 9 meses aproximadamente, lo cual es de gran relevancia para la compañía.

Por último, se determina el margen de utilidad de la máquina, lo cual indica el precio del dispositivo automático comercialmente y se utiliza la siguiente ecuación:

$$\text{Margen de utilidad} = \text{Costo de fabricacion} * \% \text{ de utilidad}$$

$$\text{Margen de utilidad} = \$ 16'753.000 * 30\% \quad (84)$$

$$\text{Margen de utilidad} = \$ 5'025.900$$

Posteriormente, se suma el margen de utilidad más el costo de fabricación obteniendo el precio de venta de la máquina.

$$\text{Precio de venta} = 16'753.000 + \$ 5'025.900 \quad (84)$$

$$\text{Precio de venta} = \$21'778.900$$

Con un porcentaje de utilidad del 30%

Por último, se determina el aumento porcentual de producción de cordones de silicona de la siguiente manera:

- ✓ Cordones extruidos mensualmente en proceso actual = 3,000
- ✓ Cordones extruidos mensualmente en proceso de proyecto = 8,340

Y se reemplaza en la siguiente ecuación:

$$\text{Aumento \%} = \frac{(8340 - 3000)}{3000} * 100\% = 178 \%$$

Obteniendo el aumento porcentual de productividad por parte de la empresa al implementar el dispositivo automático para la extrusión de perfiles de silicona.

6. CONCLUSIONES

Mediante el diseño del dispositivo automático se aumentó la cantidad de cordones de silicona extruidos de 1 a 2 unidades, representando un aumento en la productividad del 178% mensual, logrando obtener resultados positivos en la disminución en los tiempos de extrusión en un 75%.

Debido a la fabricación e implementación del dispositivo en el proceso de extrusión continuo, se aumenta la calidad de los cordones de silicona evitando burbujas de aire generadas en el proceso con el cilindro hidráulico actual, reduciendo el porcentaje de cordones defectuosos y residuos de material, dándole cumplimiento a los objetivos propuestos por la empresa.

El proyecto se considera rentable económicamente debido a los resultados obtenidos en el capítulo de análisis financiero, obteniendo un aumento en las ganancias mensuales de \$ 3'200.000 y un aumento porcentual del 158% por parte de la empresa Nacional de Licuadoras Naliet S.A.S.

El dispositivo de extrusión de perfiles garantiza una fácil y segura operación debido al diseño del automatismo, permitiendo ser manipulada mediante un tablero de control de manera automática y manual, logrando que el operario tenga un control general del proceso centrándose en el almacenamiento y calidad del cordón extruido.

Para la solución del problema general de este proyecto, se plantea un diseño innovador el cual no se consigue en el mercado debido al requerimiento funcional por parte de la empresa el cual consiste en la utilización del cilindro hidráulico.

BIBLIOGRAFIA

- [1] G.J. Peláez Arroyave, S.M. Velásquez Restrepo, And D.H. Giraldo Vásquez, "Additives for processing natural rubber and their application in small rubber plantations" vol. 78, no. 2, p. 166 Dec 2014. doi: 10.23850/22565035.100.
- [2] C, Ospina, Evaluación de las propiedades mecánicas de los perfiles extruidos a partir de la mezcla de polímeros reciclados.
- [3] "Extrusión ram | Tecnología de los Plásticos" 2011. <https://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com/2011/06/extrusion-ram.html> (accessed Nov.11,2020).
- [4] "Metal Extrusion Process and their application," 2016. <https://techminy.com/extrusion/> (accessed Nov. 11, 2020).
- [5] "Moldeo por transferencia | Tecnología de los Plásticos," 2011. <https://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com/2011/10/moldeo-por-transferencia.html> (accessed Nov. 11, 2020).
- [6] "pdf2 ficha técnica cauchos de silicona."
- [7] K. Chaudhari, "COLD EXTRUSION." 2016, Accessed: Nov. 11, 2020. [Online]. Available: <https://www.engineersgallery.com/cold-extrusion/>.
- [8] 18 - Polymer Overview and Definitions. William Andrew Publishing, pp. 165–177.
- [9] N. Book, "Introducción a la ciencia de los polímeros."
- [10] M.-M. Y. Silicone, "M. perfil silicona azul ducados 80 sh^o (±5) hil.40965II forma." <https://www.merefsa.com> (accessed Oct. 02, 2020).
- [11] T. factsheet explains what makes siloxanes unique and including how they are different from carbon-based materials, "THE UNIQUE PHYSICO-CHEMICAL PROPERTIES OF SILOXANES."
- [12] K. Siegert, EXTRUSION. Materials Park, OH, 2006.
- [13] J. R. C. Bralla, PLASTIC PROFILE EXTRUSIONS. McGraw-Hill Education, 1986.
- [14] C. M. F. Barry and S. A. Orroth, Processing of Thermoplastics. McGraw-Hill Education, 2000.
- [15] A.-M. M. Baker and J. Mead, Thermoplastics. McGraw-Hill Education, 2002.
- [16] R. Natti S, Diagnostics of Extrusion Processes. Hanser, 2014.
- [17] D, John S, Rubber Technology, Hanser, 2020.
- [18] C. Procedia, "Experimental Investigation of rubber extrusion process through vibrational testing," vol. 93, pp. 1236–1240, 2020, doi: 10.1016/j.procir.2020.04.160.

- [19] Precision Polymer Engineering, "How O-rings are made at PPE", 2018. <https://www.youtube.com/watch?v=EOaWHzhzVxc&t=192s> [Online] (Accesed nov 12, 2020)
- [20] K. T. Ulrich, S. D. Eppinger, "PRODUCT DESIGN AND DEVELOPMENT", FIFTH EDITION, NEW YORK: Paul Ducham, 2012.
- [21] F. R. Lezama, "Guía del código ASME sección VIII División I."
- [22] L. H. Granados, "Presión Hidrostática y principio de Pascal," 2017. https://www.uaeh.edu.mx/docencia/P_Presentaciones/prepa_ixtlahuaco/2017/optica.pdf.
- [23] V. K. Savgorodny, *Transformación de Plásticos*. GUSTAVO GILI S.A.
- [24] A. Eugene Marks, "Manual del Ingeniero Mecanico", Ed 9, Vol. 2, 01 Ene 1995.
- [25] Intermecc. S.A, "Transmisión de potencia Piñones y Cadenas," [Online]. Available: <https://www.intermec.com.co/literatura.php>.
- [26] R. L. Norton, *Diseño de Maquinaria*. The McGraw-Hill Companies, 2004.
- [27] R. L. Mott, *Diseño de Elementos de Maquinas*. Pearson Educación, 2006.
- [28] SIEMENS, "Catalogo de Motores por Siemens ," no. 1.0, 2019, [Online]. Available: <https://www.siemens.com/serviciosindustriales>.
- [29] "Caja reductora NM63 sinfín corona para motores de 1/2 a 3hp -." <https://exhibirequipos.com/producto/caja-reductora-nm63-sinfin-corona/> (accessed Aug. 05, 2021).
- [30] SKF, "Catalogo de Rodamientos SKF." 2020, [Online]. Available: <https://www.skf.com/co/products/rolling-bearings/ball-bearings/deep-groove-ball-bearings>.
- [31] STANLEY, "Repuestos para Herramientas Manuales, Cuchillas Planas," 2021, [Online]. Available: https://ar.stanleytools.global/es/category/Hand_Tools?search_api_fulltext=&page1
- [32] Global O-Rings and Seal, "Vida útil de la junta tórica," 2021, [Online]. Available: <https://www.globaloring.com/es/o-ring-shelf-life/>.
- [33] Decreto 4741 de 2005 [Con fuerza de ley]. Por medio del cual se expide el Código de Derechos y Deberes del Generador y de la Gestión Integral de residuos. 30 de diciembre de 2005. Cap. 3. Art 10.
- [34] Manual Estructuración del Trabajo de Grado. Fundación Universidad de América, 2021 [PDF]

