

DISEÑO DE UNA MÁQUINA PARA EL CORTE DE LÁMINAS DE EMPAQUE
FLEXIBLE PARA FLORES EN LA EMPRESA CRISTAPACK S.A.S.

ANGELICA PAOLA PRIETO PRIETO

FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA
FACULTAD DE INGENIERÍAS
PROGRAMA DE INGENIERÍA MECÁNICA
BOGOTÁ D.C.
2020

DISEÑO DE UNA MÁQUINA PARA EL CORTE DE LÁMINAS DE EMPAQUE
FLEXIBLE PARA FLORES EN LA EMPRESA CRISTAPACK S.A.S.

ANGELICA PAOLA PRIETO PRIETO

proyecto integral de grado para optar al título de
INGENIERO MECÁNICO

FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA
FACULTAD DE INGENIERÍAS
PROGRAMA DE INGENIERÍA MECÁNICA
BOGOTÁ D.C.
2020.

Nota de aceptación.

Ing. Daniel Eduardo Villalobos Correa.

Ing. Edgar Arturo Chalá Bustamante.

Bogotá D, C. Febrero, 2020

DIRECTIVAS DE LA UNIVERSIDAD

Presidente de la universidad y rector del claustro.

DR. MARIO POSADA GARCÍA-PEÑA

Vicerrector de desarrollo y recursos humanos.

Dr. LUIS JAIME POSADA GARCÍA-PEÑA

Vicerrectoría académica y de posgrados.

Dra. ANA JOSEFA HERRERA VARGAS

Secretaria general.

Dra. ALEXANDRA MEJIA GUZMAN

Decano facultad de ingeniería.

Dr. JULIO CESAR FUENTES ARISMENDI

Director del programa de ingeniería mecánica.

Dr. CARLOS MAURICIO VELOZA VILLAMIL

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. Éstos corresponden únicamente a los autores

DEDICATORIA

Dedico mi proyecto de grado con todo mi amor y cariño a Dios quien me ha permitido llegar hasta este punto, quien me dio la vida y una familia maravillosa que día a día me dio la fuerza necesaria para continuar. A mis padres Octavio Alejandro Prieto Cuspoca y Miryam Prieto Sáenz por ser mi ejemplo a seguir, por enseñarme día a día a buscar soluciones y no decaer.

Dedico mi trabajo a mis hermanos Luis Alejandro Prieto y Juan Diego Prieto quienes han sido mi compañía toda la vida con quienes sé que cuento pase lo que pase y a Diana Marcela Cabra por ser mi guía en muchos momentos durante la vida, por ser mi confidente y consejera.

Por último, a María Fernanda Castañeda y Catalina Prada, quienes han estado conmigo a lo largo de toda mi vida, me han aconsejado y animado en cada obstáculo. Y Fabian Fuentes, por ser mi compañía y apoyo a lo largo de todo este proceso.

Angelica Paola Prieto Prieto

AGRADECIMIENTOS

Primero quiero agradecer a Dios quien me dio la vida y me dio la posibilidad de estar en este punto de mi vida, Agradezco a Familia por dame siempre el apoyo y consejo, para cumplir mis metas y sueños

Y por último agradezco a la Fundación Universidad América, a mis docentes quienes siempre estuvieron dispuestos a ayudarme y a los amigos y compañeros que estuvieron presentes durante todo el proceso por que han dejado una huella en mi o un aprendizaje que me formo como persona.

Angelica Paola Prieto Prieto

CONTENIDO

	pág.
INTRODUCCIÓN	24
1. SISTEMA DE CORTE EN LA INDUSTRIA DEL PLÁSTICO	26
1.1 FABRICACIÓN DE PRODUCTOS	26
1.1.1 Cizalla	26
1.1.1.1 Cortes convencionales: corte por guillotina.	26
1.1.1.2 Materiales para cuchilla de corte	29
1.1.2 Corte por calor	30
1.1.2.1 Láser (light amplification by stimulated emission of radiation)	30
1.1.2.2 Termosellado	33
1.1.3 Tabla comparativa.	34
1.2 CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES.	35
1.2.1 Polímeros.	35
1.2.1.1 Policloruro de vinilo.	35
1.2.1.2 Polipropileno.	36
1.2.1.3 Tereftalato de polietileno (PET).	36
2. CONTEXTO ACTUAL DE LA EMPRESA.	38
2.1 EXPORTACIÓN DE FLORES	38
2.1.1 Proceso de producción y empaque de flores.	38
2.1.1.1 Industria del plástico	38
2.2 SITUACIÓN ACTUAL DE LA EMPRESA.	39
2.2.1 Método de elaboración de los productos.	39
2.2.1.1 Materias primas.	40
2.2.2 Servicios que ofrece la empresa.	42
2.2.2.1 Película extensible en PVC atóxica	42
2.2.2.1 Empaque flexible para flores.	43
2.2.2.2 Empaque flexible para flores.	43
2.3 ESTADO ACTUAL DEL SISTEMA DE CORTE EN LA INDUSTRIA.	45
2.3.1 Descripción de la máquina de corte de la empresa Cristapack.	46
2.3.1.1 Material reprocesado.	47
2.4 PARAMETROS Y REQUERIMIENTOS ACTUALES DE LA EMPRESA.	47
2.4.1 Producción diaria esperada.	48
2.4.2. Parámetros y requerimientos de diseño y del cliente	50
2.4.2.1. Parámetros y requerimientos para diseñar el sistema de corte	50
2.4.2.2. Parámetros y requerimientos para diseñar el sistema de potencia y control.	50
2.4.2.3. Parámetros y requerimientos para diseñar la estructura	51
2.5 EVALUACIÓN DE LOS SISTEMAS.	51

3.	METODOLOGÍA DE DISEÑO DE MÁQUINA CORTADORA PARA EMPAQUE FLEXIBLE	52
3.1	DIAGRAMA DEL PROCESO.	52
3.2	PLANTEAMIENTO Y SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS DEL SISTEMA DE ALIMENTACIÓN.	54
3.2.1	Sistema de sujeción de la bobina.	54
3.2.1.1	Sistema mecánico	54
3.2.1.2	Ejes neumáticos expandibles	56
3.2.2	Apoyo del eje	58
3.2.2.1	Cojinetes de deslizamiento.	59
3.2.2.2	Rodamientos.	59
3.2.3	Sistema de freno	60
3.2.3.1	Freno de cinta.	61
3.2.3.2	Freno mecánico. Freno de plato de fricción.	61
3.2.3.3	Freno electromagnético	61
3.3	PLANTEAMIENTO Y SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS DEL SISTEMA DE ARRASTRE Y CORTE	63
3.3.1	Sistema de arrastre.	64
3.3.2	Sistema de corte.	64
3.3.2.1	Corte por calor.	64
3.3.2.2	Corte por guillotina.	65
3.3.2.3	Corte por laser	66
3.3.3	Tipos de automatización de la guillotina	68
3.3.3.1	Mecánico	68
3.3.3.2	Electroneumático.	68
3.3.3.3	Electrohidráulico.	69
3.4	PLANTEAMIENTO Y SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS DE LA ESTRUCTURA	70
3.4.1	Control de tensión.	71
3.4.2	Zona de descargue	71
3.5	PLANTEAMIENTO Y SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS DEL SISTEMA DE POTENCIA Y CONTROL	72
3.5.1	Sistema de potencia	72
3.5.1.1	Motor paso a paso	72
3.5.1.2	Leva cruz de malta.	73
3.5.1.3	Corredera	73
3.5.2	Sistema de control	74
3.6	DESCRIPCIÓN DE LA MAQUINARÍA SELECCIONADA.	75
4.	DISEÑO DETALLADO.	76
4.1	Sistema de dosificación.	77
4.1.1	Rodillos de alimentación o presión	77
4.1.1.1	Fabricación y selección	78
4.1.2	Apoyo de rodillos	96

4.1.3	Transmisión de movimiento.	102
4.1.4	Ensamble del sistema de dosificación.	105
4.1.5	Simulación del sistema.	105
4.2	SISTEMA DE POTENCIA.	113
4.2.1	Sistema de transmisión.	114
4.2.2	Selección del motor.	115
4.2.2.1	Torque del motor.	115
4.2.2.2	Velocidad angular (RPM).	118
4.2.2.3.	Selección del motor.	120
4.2.3	Selección de la correa.	122
4.3	SISTEMA DE CORTE	125
4.3.1	Fuerza de corte.	126
4.3.2	Cilindro neumático.	128
4.3.2.1	Accesorios del sistema neumático.	130
4.3.3	Elementos estructurales del sistema	132
4.3.3.1	Cuchillas.	132
4.3.3.2	Base	134
4.3.3.3	Guía lateral	135
4.3.4	Ensamble del sistema.	135
4.4	SISTEMA DE ALIMENTACIÓN.	141
4.4.1	Ejes neumáticos expansibles.	142
4.4.2	Rodamientos de apoyo.	143
4.4.3	Freno electromagnético.	151
4.5	CONTROL DE TENSIÓN. RODILLOS BALANCÍN	159
4.6	ESTRUCTURA.	165
4.6.1.	bastidor	166
4.6.2.	Simulación del bastidor.	168
4.6.3.	zona de descargue.	173
4.7	SISTEMA DE CONTROL	176
4.7.1	PLC.	177
4.7.2	Tarjeta driver.	177
4.7.3	Encoder.	178
4.7.4	Diagrama electroneumático.	180
4.8	DISEÑO FINAL	182
5.	MANUALES	183
5.1	MANUAL DE INSTALACIÓN Y ENSAMBLE.	183
5.1.1	Montaje del sistema de dosificación.	184
5.1.1.1	Ensamble de rodillos de presión.	184
5.1.1.2.	Ensamble del sistema al bastidor.	186
5.1.1.3.	Apoyos de rodamientos.	188
5.1.2.	Montaje del sistema de corte.	188
5.1.3.	Montaje del sistema de potencia.	191
5.1.3	Montaje del sistema de alimentación	194

5.2	MANUAL DE OPERACIÓN.	196
5.3	MANUAL DE MANTENIMIENTO.	198
6.	EVALUACIÓN FINANCIERA	202
6.1	Inversión inicial.	202
6.2	Beneficio del proyecto.	205
6.3	Resultados de la evaluación financiera.	214
7.	CONCLUSIONES	215
8.	RECOMENDACIONES.	217
	BIBLIOGRAFÍA	220
	ANEXOS	221

LISTA DE FIGURAS.

	pág.
Figura 1. Guillotina de palanca.	27
Figura 2. Guillotina lineal a palanca, ofitech FN-4708	27
Figura 3. Guillotina trilateral automática.	28
Figura 4. Guillotina Challenge 305	28
Figura 5. Guillotina lineal programable automática - guillotina challenge 370XG	29
Figura 6. Proceso de corte por láser: cabezal de corte por láser	31
Figura 7. Bombeo Óptico	32
Figura 8. termosellado por alambre y por cuchilla	33
Figura 9. capuchones para flores.	34
Figura 10. Logo de la empresa.	39
Figura 11. Extrusión.	40
Figura 12. Rollos de película extensible.	42
Figura 13. Tipos de empaque para flores, microperforada lisa con papel	43
Figura 14. Cortadora de la empresa Cristapack	46
Figura 15. Tramos y laminas que no cumplen con la calidad	47
Figura 16. Prediseño	52
Figura 17. sistema mecánico.	55
Figura 18. Modo de empleo de las manzanas	55
Figura 19. Eje neumático expandible.	56
Figura 20. empleo del sistema de rodamientos	59
Figura 21. Configuración de los rodillos balancín. vertical y horizontal	71
Figura 22. Diseño de máquina de corte con los respectivos sistemas.	76
Figura 23. Sistema de dosificación.	77
Figura 24. Rodillos de presión.	78
Figura 25. Catalogo y selección de tubería de acero.	79
Figura 26. Diagrama inicial.	80
Figura 27. Diagrama de fuerzas 3D, para eje de dosificación.	83
Figura 28. Fuerzas sobre las bandas en V.	84
Figura 29. Plano XZ.	85
Figura 30. Diagrama de esfuerzo cortante.	85
Figura 31. Diagrama de momento flector	86
Figura 32. Plano XY	86
Figura 33. Cuñero de perfil.	88
Figura 34. Chaflanes escalonados (agudo).	88
Figura 35. Ejes de rodillos de presión. a) rodillo superior con cuña, b) rodillo superior. c) rodillo inferior con cuña, d) rodillo inferior con cuña al motor.	89
Figura 36. Factores de geometría para análisis de soldadura.	90
Figura 37. Fuerza resultante de la soldadura (Método gráfico).	92
Figura 38. Soldadura de E-6013.	93
Figura 39. Ensamble de rodillos de presión.	95
Figura 40. Partes del apoyo del rodamiento.	96

Figura 41. Catalogo y selección de rodamiento de bolas autoalineable, SKF.	97
Figura 42. Diagrama para calcular el resorte.	98
Figura 43. Resorte.	100
Figura 44. Apoyo rodamiento de rodillo de presión superior.	100
Figura 45. Catalogo y selección de rodamiento rígido de una hilera de bolas.	101
Figura 46. Catalogo y selección de rodamiento rígido de una hilera de bolas.	102
Figura 47. Ensamble del rodillo de presión superior.	102
Figura 48. Tabla y selección de los cuñeros y cuñas estándar en pulgadas de sección cuadrada.	105
Figura 49. Ensamble del rodillo de presión: a) superior, b) inferior.	105
Figura 50. Diagrama de cuerpo libre.	109
Figura 51. Rodillo de presión, mallado.	110
Figura 52. restricciones y cargas del rodillo de presión.	111
Figura 53. Rodillo de presión, desplazamiento	111
Figura 54. Rodillo de presión, esfuerzo von misses.	112
Figura 55. Rodillo de presión, esfuerzo von misses promedio	112
Figura 56. Ensamble del sistema de dosificación.	113
Figura 57. Selección de Poleas sincrónicas.	114
Figura 58. Selección de Poleas sincrónicas del motor.	114
Figura 59. Fuerza ejercida por bobina	116
Figura 60. Bobina a calcular momento de inercia.	119
Figura 61. Motor paso a paso seleccionado JK86H115-6004.	121
Figura 62. Correa sincrónica seleccionada.	125
Figura 63. Sistema de corte por guillotina electroneumática.	126
Figura 64. Esquema de cuchillas de corte.	127
Figura 65. Flanche	130
Figura 66. Catalogo y selección de rodamientos lineales a bolas para ejes -LBBR	132
Figura 67. Angulo de cizallamiento.	133
Figura 68. Angulo de corte.	134
Figura 69. Base superior.	134
Figura 70. Ensamble del sistema de corte.	135
Figura 71. Diagrama de cuerpo de la base.	136
Figura 72. Calculadora de peso de Axxecol.	137
Figura 73. Malla de la placa base del sistema de corte superior.	138
Figura 74. Fuerza aplicada de 128,94 N	138
Figura 75. Restricciones de desplazamiento.	139
Figura 76. Restricciones de desplazamiento.	139
Figura 77. Esfuerzo von misses.	140
Figura 78. Esfuerzo von misses promedio.	140
Figura 79. Sistema de alimentación.	141
Figura 80. Boceto general del eje neumático expansible	142
Figura 81. Boceto general del eje neumático expansible	143
Figura 82. Catalogo y selección del rodamiento.	144
Figura 83. Diagrama inicial del eje del rodamiento.	144

Figura 84. Fator de confiabilidad aproximado CR.	146
Figura 85. Diagrama de fuerzas 3D.	147
Figura 86. Plano XZ.	147
Figura 87. Diagrama de esfuerzo cortante.	148
Figura 88. Diagrama de momento flector	148
Figura 89. Dimensiones del eje.	149
Figura 90. Desbaste circular.	150
Figura 91. Tapa superior para el eje neumático	150
Figura 92. Lateral de la tapa superior.	150
Figura 93. Ensamble apoyo para el eje.	151
Figura 94. Selección de freno básico de tensión.	152
Figura 95. Partes y componentes del sistema de frenado.	152
Figura 96. Recomendaciones y selección del eje para freno TB 500.	153
Figura 97. Selección de rodamiento para freno electromagnético.	154
Figura 98. Flanche freno.	155
Figura 99. Boceto del eje del freno electromagnético.	155
Figura 100. Ensamble del freno al sistema de alimentación.	156
Figura 101. Distancia entre centros.	156
Figura 102. Ensamble del sistema de alimentación.	159
Figura 103. Rodillos balancín. a) Vista lateral. b) vista general parcial.	160
Figura 104. Tubería seleccionada de aluminio de 2 in.	161
Figura 105. Selección de rodamiento para rodillos balancín.	162
Figura 106. Selección de rodamiento para rodillos balancín.	162
Figura 107. Rebaje en tubería de aluminio.	163
Figura 108. Plano del brazo.	163
Figura 109. Rebaje en tubería de aluminio.	164
Figura 110. Ensamble de los rodillos superiores.	164
Figura 111. Ensamble rodillo inferior, con brazo.	165
Figura 112. Balancín ensamblando. a) vista general parcial, b) Vista superior.	165
Figura 113. Bastidor. a) zona de enhebrado, b) recorte para evitar golpes.	166
Figura 114. Guarda de seguridad del sistema de potencia.	167
Figura 115. Cubierta de seguridad para el sistema de corte.	168
Figura 116. Cubierta ensamblada en la máquina cortadora.	168
Figura 117. Masa del freno.	169
Figura 118. Malla de 5 mm en el bastidor.	170
Figura 119. Cargas y restricciones del bastidor.	171
Figura 120. Desplazamiento del bastidor.	171
Figura 121. Esfuerzo nodal (Von misses).	172
Figura 122. Esfuerzo nodal (Von misses promedio).	172
Figura 123. Mesa o tabla.	175
Figura 124. Catalogo Acero inoxidable West. Tubería Schedule 80.	176
Figura 125. Mesa inclinada.	176
Figura 126. Tarjeta JK2M2283	178
Figura 127. Parámetros tarjeta JK2M2283	178
Figura 128. Secuencia neumática.	180

Figura 129. Conexión neumática.	180
Figura 130. Conexión al controlador lógico programable.	181
Figura 131. Diagrama eléctrico.	181
Figura 132. Sistema electroneumático.	182
Figura 133. Sujeción con tornillos del bastidor inferior.	184
Figura 134. Posición de los bastidores.	184
Figura 135. Ejes soldados a las placas laterales.	185
Figura 136. Rodillos de presión soldados.	185
Figura 137. Rodillos encauchados.	185
Figura 138. Engranajes para la transmisión de movimiento.	186
Figura 139. Ubicar los rodamientos.	186
Figura 140. Rodillo acomodado en el bastidor.	186
Figura 141. Apoyo de rodamientos inferior.	187
Figura 142. Apoyo de rodamientos superior.	187
Figura 143. Engranajes para la transmisión de movimiento.	187
Figura 144. Acople de la polea sincrónica.	188
Figura 145. Elementos del apoyo superior.	188
Figura 146. Ensamble sistema de corte inferior.	189
Figura 147. Acople al bastidor del sistema de corte inferior.	189
Figura 148. Cilindro neumático, Flanche y base superior.	190
Figura 149. Guías laterales.	190
Figura 150. Acople de la cuchilla superior.	190
Figura 151. Acople del cilindro neumático al apoyo de la cuchilla.	191
Figura 152. Ensamble del sistema del corte al bastidor.	191
Figura 153. Motor paso a paso, acoplado al bastidor.	192
Figura 154. Elementos de transmisión.	192
Figura 155. Rodillo balancín.	193
Figura 156. Rodillo inferior con brazo móvil.	193
Figura 157. Acople de los rodillos balancín al bastidor.	193
Figura 158. Rodamientos de apoyo.	194
Figura 159. Cubierta superior.	194
Figura 160. Freno electromagnético.	195
Figura 161. Transmisión.	195
Figura 162. Separadores centrales.	196
Figura 163. Zona de descargue	196
Figura 164. Zona de descargue	197
Figura 165. Botón de encendido	197
Figura 166. Parada o parada de emergencia.	198

LISTA DE TABLAS.

	pág.
Tabla 1. Ficha técnica PVC	40
Tabla 2. Ficha técnica del PP.	41
Tabla 3. Ficha técnica PET	41
Tabla 4. Características generales de las diferentes bobinas	44
Tabla 5. Capacidad de producción.	45
Tabla 6. Costo de mano de obra de un	45
Tabla 7. Variables que intervienen	46
Tabla 8. Densidad de la materia prima.	48
Tabla 9. Masa de una hoja de los diferentes materiales.	48
Tabla 10. Masa del polipropileno en un corte.	49
Tabla 11. Flujo masico.	50
Tabla 12. Variables a mejorar.	51
Tabla 13. Costo aproximado de la fabricación de manzanas mecánicas.	56
Tabla 14. Tabla multicriterio QFD, en el sistema de sujeción de la bobina.	58
Tabla 15. Tabla multicriterio QFD, en el apoyo del eje	60
Tabla 16. Tabla multicriterio QFD, en el sistema de freno.	63
Tabla 17. Tabla multicriterio QFD, en el sistema de corte.	67
Tabla 18. Tabla multicriterio QFD, sistema de automatización de la guillotina	70
Tabla 19. Tabla multicriterio QFD, en el sistema de potencia.	74
Tabla 20. Factores del eje para la resistencia a la fatiga estimada.	81
Tabla 21. Fator de confiabilidad aproximado CR	82
Tabla 22. Diámetros del eje.	87
Tabla 23. Diámetros del eje.	89
Tabla 24. Características del recubrimiento del caucho.	94
Tabla 26. Masa total de los elementos.	98
Tabla 27. Fuerza mínima de un resorte.	99
Tabla 28. Cálculos del resorte. ASTM A228	99
Tabla 29. Masa del tubo.	106
Tabla 30. Volumen de los ejes laterales.	106
Tabla 31. Masa de los ejes laterales.	107
Tabla 32. Volumen del Flanche inferior.	107
Tabla 33. Volumen del Flanche superior.	107
Tabla 34. Masa del Flanche.	108
Tabla 35. Peso de los rodamientos del sistema de dosificación.	108
Tabla 36. Peso de otros elementos del sistema de dosificación.	109
Tabla 37. Propiedades de la malla utilizada.	111
Tabla 38. Parámetros críticos mínimos.	115
Tabla 39. Esfuerzo de fluencia en materia prima.	115
Tabla 40. Características del motor Paso a paso. JK2M2283	121
Tabla 41. Especificaciones del motor.	122
Tabla 42. Capacidad de transmisión con correa 5m de ancho 15 mm	125
Tabla 43. Esfuerzo ultimo.	127

Tabla 44. Accesorios neumáticos.	131
Tabla 45. Masa de la base.	136
Tabla 46. Masa del portacuchilla.	136
Tabla 47. Masa de la guía lateral.	137
Tabla 48. Peso total del sistema de corte.	137
Tabla 49. Información sobre la malla de la base del sistema de corte superior.	138
Tabla 50. Factores del eje para la resistencia a la fatiga estimada.	145
Tabla 51. Diámetros del eje.	149
Tabla 52. Diámetros del eje.	149
Tabla 53. Coeficientes de fricción de los materiales en que se fabrica las láminas.	174
Tabla 54. Datos generales Tarjeta controladora JK2M2283	177
Tabla 55. Equipo de protección personal.	198
Tabla 56. Ficha técnica.	199
Tabla 59. Costos de materiales.	202
Tabla 60. Costos de fabricación.	204
Tabla 61. Costos de ingeniería.	204
Tabla 62. Costo total.	205
Tabla 63. Proyección de ingresos anuales sin proyecto y con proyecto	206
Tabla 64. Costos de producción sin proyecto.	207
Tabla 65. Flujo de caja sin proyecto y con proyecto.	208
Tabla 66. Proyección de ingresos anuales sin proyecto y con proyecto	209
Tabla 67. Costos de producción sin proyecto.	209
Tabla 68. Inversiones de la empresa	210
Tabla 69. Depreciación lineal de la máquina a 10 años.	210
Tabla 70. Flujo de caja sin proyecto y con proyecto.	211
Tabla 71. Tasa de interés de oportunidad.	211

LISTA DE CUADROS.

	pág.
Cuadro 1 Aceros con aplicación de corte.	30
Cuadro 2 Análisis comparativo de los sistemas de corte de plástico	34
Cuadro 3 Análisis comparativo de los plásticos.	37
Cuadro 4. Clasificación según importancia de los ¿Qué?	57
Cuadro 5. Situación actual del producto respecto al ¿Qué?	57
Cuadro 6. Relación entre, ¿Qué? y ¿Cómo?	57
Cuadro 7. Proceso de fabricación con autoclave	95
Cuadro 8. Inspecciones.	200
Cuadro 8. Lista de fallas.	201

LISTA DE DIAGRAMAS

	Pág.
Diagrama 1. Proceso, película extensible,	42
Diagrama 2. Proceso, láminas de empaque de flores.	43
Diagrama 3. Diagrama de la máquina	53
Diagrama 4. Sistema de alimentación y subsistemas.	54
Diagrama 5. Sistema de arrastre.	64
Diagrama 6. Sistema de corte.	64
Diagrama 7. Métodos de automatización de la guillotina	68
Diagrama 8. Estructura.	70
Diagrama 9. Sistema de potencia	72
Diagrama 10. Resumen de las alternativas seleccionadas.	75
Diagrama 11. Proceso de fabricación y ensamble de los rodillos de presión.	79
Diagrama 12 Resistencia a la fatiga modificada.	81
Diagrama 13. Confirmación del método grafico del factor de tamaño.	82
Diagrama 14. Diseño y selección de elementos para el apoyo de Rodillos	96
Diagrama 15. Potencia de diseño transmitida en función de la velocidad del piñón.	103
Diagrama 16. Variables necesarias para selección del motor.	115
Diagrama 17. Sistema de potencia.	123
Diagrama 18. Selección del paso de la correa..	124
Diagrama 19. Sistema de corte, elementos principales.	128
Diagrama 20. Método grafico de la fuerza del pistón	130
Diagrama 21. Sistema de alimentación, subsistemas.	141
Diagrama 22. Apoyo rodamientos, elementos de diseño y selección.	143
Diagrama 23. Resistencia a la fatiga modificada.	145
Diagrama 24. Confirmación del método grafico del factor de tamaño.	146
Diagrama 25. Elementos que componen el freno electromagnético.	153
Diagrama 26. Elementos que componen los rodillos balancín.	160
Diagrama 27. Elementos a diseñar en la estructura.	166
Diagrama 28. Etapas del Sistema de control.	179

LISTA DE ECUACIONES.

	pág.
Ecuación 1. masa.	48
Ecuación 2. Numero de cortes	49
Ecuación 3. Flujo masico	49
Ecuación 4. Cortes necesarios.	50
Ecuación 5. Resistencia a la fatiga estimada real.	80
Ecuación 6. Fuerza impulsora neta.	84
Ecuación 7. Fuerza de flexión sobre el eje.	84
Ecuación 8. Diámetro de eje.	87
Ecuación 9. Esfuerzo de corte vertical directo.	91
Ecuación 10. Esfuerzo de flexión.	91
Ecuación 11. Esfuerzo de torsión.	92
Ecuación 12. Longitud de la soldadura.	93
Ecuación 13. Diámetro total de los rodillos de presión.	94
Ecuación 14. Fuerza de fricción.	98
Ecuación 15. Numero de dientes.	103
Ecuación 16. Diámetro exterior.	103
Ecuación 17. Diámetro interior.	104
Ecuación 18. Altura del diente.	104
Ecuación 19. Longitud diente.	104
Ecuación 20. Deflexión máxima de la estructura.	112
Ecuación 21. Relación de transmisión.	114
Ecuación 22. Esfuerzo máximo.	116
Ecuación 23. Torque.	117
Ecuación 24. Velocidad lineal de corte.	118
Ecuación 25. Velocidad angular.	118
Ecuación 26. Razón de las velocidades angulares.	118
Ecuación 27. Momento de inercia.	119
Ecuación 28. Potencia del motor.	123
Ecuación 29. Potencia de diseño.	123
Ecuación 30. Longitud correa no estandarizada en Intermec	124
Ecuación 31. La fuerza para el corte con cuchillas paralelas.	127
Ecuación 32. Longitud cortada.	127
Ecuación 33. Fuerza teórica que ejerce el pistón.	129
Ecuación 34. Fuerza de fricción en operaciones normales.	129
Ecuación 35. Fuerza real de avance.	129
Ecuación 36. Diámetro de eje.	148
Ecuación 37. Distancia entre centros	157
Ecuación 38. Numero de dientes del piñón.	157
Ecuación 39. Diámetro de la corona.	157
Ecuación 40. Deflexión máxima de la estructura.	173
Ecuación 41. Sumatoria de fuerzas en el eje X.	173

Ecuación 42. Sumatoria de fuerzas en el eje Y.	173
Ecuación 43. Formula TIO.	211
Ecuación 44. Formula VPN.	212
Ecuación 45. Formula TIR.	213

LISTA DE ANEXOS.

	Pág.
Anexo A. Dimensiones del motor paso a pas	222
Anexo B. Medidas del flanche del pistón neumático proporcionada por arvox	223
Anexo C. Medidas del freno electromagnético TB 500	224
Anexo D. Planos constructivos	225

RESUMEN

Este proyecto tiene como fin el diseño de una máquina para el corte de láminas de empaque flexible para flores en la empresa INVERSIONES CRISTAPACK S.A.S. permitiendo el aumento de la productividad y calidad, asimismo impedirá el reproceso del producto terminado y la afectación física de operarios por actividades repetitivas.

Para el cumplimiento del proyecto inicialmente se realizó una investigación de los sistemas de corte existentes en la industria para laminas flexibles, a continuación, se investigaron los parámetros actuales de la empresa, factores como el proceso del producto, métodos de corte empleados y variables que intervienen. A continuación, se definieron los requerimientos de la empresa tanto de producción como aquellos que resuelven la problemática que la empresa posee.

Posteriormente se realizó el diseño metodológico donde se establecieron los sistemas y subsistemas que poseen la máquina, para así establecer y seleccionar las alternativas que abarcan de mejor manera la problemática de la empresa. Principalmente se diseñó el sistema de corte, alimentación, dosificación, potencia y control, adicionalmente la estructura. Asimismo, se realizaron planos de los elementos y ensambles, para finalizar se realizaron manuales de instalación, operación y mantenimiento. Además, de una evaluación financiera donde se indican los costos y el beneficio del proyecto

PALABRAS CLAVE: Diseño, Corte, Empaque, Flores, Potencia, Control.

INTRODUCCIÓN.

Con el aumento de la producción de flores debido al incremento en la demanda nacional y extranjera, los floricultores requieren insumos de manera oportuna y de calidad necesarios para la manipulación y transporte del producto, entre estos es relevante la forma en que se empacan las flores para su protección; es aquí donde Cristapack S.A.S. debe suministrar un producto (lamina para empaque de flores) que satisfaga las necesidades de los productores en función de las exigencias y normatividades de los países importadores.

La empresa inversiones Cristapack S.A.S. es una empresa dedicada a la producción y comercialización de productos plásticos, principalmente empaque de flores y película extensible. Desde su constitución la empresa ha optado por el corte manual en la zona de corte de láminas para empaque de flores. a pesar de que la empresa proporciona el producto con los estándares exigidos por los floricultores, presenta problemas de baja productividad, calidad inadecuada, reproceso del producto y afectación física de los operarios.

Para resolver este problema se implementará una máquina para el corte de láminas de empaque flexible, que cumpla con los parámetros exigidos por la empresa, para llevar a cabo este proyecto se han presentado los siguientes objetivos:

OBJETIVO GENERAL.

- Diseñar una máquina para el corte de láminas de empaque para flores en la empresa CRISTAPACK S.A.S.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Evaluar los requerimientos, parámetros actuales de la empresa y el estado actual de los sistemas de corte en la industria.
- Realizar el diseño metodológico y establecer las alternativas de solución.
- Diseñar a detalle la estructura, el sistema de potencia, sistema de corte y el sistema de control de la máquina.
- Elaborar los respectivos manuales de instalación, operación y mantenimiento.
- Realizar la evaluación financiera.

Para el alcance se realizó el diseño detallado de los sistemas que conforman la máquina cortadora de láminas para empaque de flores: Estructura, componentes del sistema de potencia, sistema de control y sistema de corte. Junto a lo anterior se entregan los planos de los componentes y ensambles.

Se realizaron manuales de instalación, operación y mantenimiento que contendrá recomendaciones de seguridad; análisis costos de materiales, fabricación e ingeniería; además de lo anterior, se evaluará el beneficio del proyecto al mostrar cómo influye sobre la productividad.

Para el desarrollo del documento se tuvo en cuenta fuentes de información como documentos en línea, libros e información suministrada por la empresa, dichos documentos se utilizaron para diagnosticar la situación actual del proceso de corte y en el análisis necesario para selección de componentes de la máquina. Una vez recopilada la información, se evaluó la situación actual de los sistemas de corte en la industria con la finalidad de conocer como se ha llegado a contrarrestar la problemática expuesta.

Con lo anterior se procede a desarrollar la metodología del diseño conceptual donde se hará el diseño funcional, y se plantearan las alternativas para solución del problema. Teniendo una alternativa seleccionada, se realizará el diseño detallado, donde se hará el cálculo de componentes, enfocándose en el sistema de corte, sistema de potencia, sistema de control y estructura.

1. SISTEMA DE CORTE EN LA INDUSTRIA DEL PLÁSTICO

1.1 FABRICACIÓN DE PRODUCTOS

Dentro de cada industria existen diferentes procesos que permiten la transformación de una materia prima en un producto, dichos procesos están compuestos por distintas operaciones que van desde la recepción de materias primas hasta el despacho de un producto. El proyecto está enfocado en la operación de corte de láminas plásticas, para dar forma y dimensionamiento; el proceso puede ser llevado a cabo de manera manual con elementos como tijeras y/o bisturí, que resultan ineficientes. Asimismo, se pueden llevar a cabo por procesos industrializados. A continuación, se realiza una explicación de los procesos más usados en la industria plástica para el corte de láminas.

1.1.1 Cizalla. “se basa en la acción de una cuchilla, de un punzón o de otro útil parecido, que separe una porción del material, venciendo la resistencia que se opone al esfuerzo cortante”¹

El cizallamiento se puede dar a nivel industrial principalmente con corte por guillotina el cual se explicará.

1.1.1.1 Cortes convencionales: corte por guillotina. Según el ministerio de trabajo, migraciones y seguridad social de España² las guillotinas son máquinas cuya función consiste en el corte por presión o cizalla de materiales blandos. Consta de una hoja de acero afilada o cuchilla en uno de sus lados, y escuadras para la posición de las hojas o laminas del material a cortar.

Se clasifican según su accionamiento en:

✓ Guillotinas manuales. Máquinas con un funcionamiento sencillo, diseñadas para sectores con bajo volumen de actividad donde se requiere un corte exacto. En la Figura 1. Se muestra una de las guillotinas más conocidas.

¹ Academia de Hutte. Traducido por Rafael Hernández. Manual del ingeniero. Barcelona: Gustavo Gili S.A. 1980. ISBN 8425202698.

² Ministerio de trabajo, migraciones y seguridad social de España. NTP 98. Guillotina de papel. España. 1984. 6 p.

Figura 1. Guillotina de palanca.



Fuente: Industrias Guioto. [en línea]
<http://www.gioto.com.co/guillotinas-cortadores/699-guillotina-de-palanca-para-40-hojas-kw-trio-rf-3040>.
Bogotá D.C., 2016

Algunos ejemplos de los tipos de guillotinas manuales son:

- Guillotina cortadora: diseñadas para el corte de las bobinas y para trocear las hojas.
- Guillotina lineal: diseñada para cortar y/o refilar hojas de proporciones de altura variable hasta 180 mm con longitud hasta de 2 m.
- Guillotina lineal a palanca: su accionamiento se realiza mediante una palanca que baja la cuchilla. Es la más antigua y sus dimensiones máximas son aproximadamente 650 mm.

Figura 2. Guillotina lineal a palanca, ofitech
FN-4708



Fuente: Emakey. [en línea]
<http://emakey.com/producto/guillotinas-con-prensa-manual-guillotina-ofitech-fn4708>. 2019

- ✓ Guillotinas automáticas. Algunos ejemplos de estas guillotinas son:

Guillotina trilateral: puede llevar a cabo el corte simultaneo de tres lados. Su cuchilla puede estar segmentada o doblada en 3 lados. Es adecuado para refilar libros y revistas.

Figura 3. Guillotina trilateral automática.



Fuente: interempresas [en línea]
<http://www.interempresas.net/Graficas/FeriaVirtual/Producto-Guillotina-trilateral-automatica-Horizon-Ht-1000-109755.html>

- ✓ Guillotinas semiautomáticas. son diseñadas con sistemas automáticos y manuales, generalmente poseen un sistema de pistón manual. también pueden poseer un accionamiento eléctrico mediante motores, a diferencia de las guillotinas automáticas, se debe mover manualmente la escuadra y modificando los comandos del motor. Algunas de estas guillotinas son:

Guillotina lineal semiautomática: su accionamiento es eléctrico mediante motores. Posee pistones hidráulicos con una pantalla que indica las medidas de corte

Figura 4. Guillotina Challenge 305



Fuente: emakey. [En línea]
<http://emakey.com/producto/guillotinas-electricas-e-industriales-guillotina-challenge-305x>. 2019

✓ Guillotinas programables. son las guillotinas más modernas, sus movimientos son accionados por motores eléctricos y bombas hidráulicas. Su principal característica es que sus escuadras se acoplan a las medidas necesarias automáticamente una vez programadas. Diseñadas para empresas con grandes volúmenes.

Figura 5 Guillotina lineal programable automática - guillotina challenge 370 XG



Fuente: Emakey. [En línea] <http://emakey.com/producto/guillotinas-electricas-e-industriales-guillotina-challenge-370xg>

Los dos tipos más comunes son:

Guillotina con display numérico: las medidas de corte programadas se ven en un display numérico.

Guillotina con monitor: se pueden observar los pasos programados, errores información y estado del equipo.

1.1.1.2 Materiales para cuchilla de corte. Existen diversos materiales para la producción de cuchillas o elementos de corte, para la correcta selección se tiene en cuenta el material a cortar, la dureza de suministro y el tratamiento térmico aplicado.

Según la industria Axxecol S.A.³ las cuchillas de acero se dividen según su aplicación, por lo que dividen sus productos en: aceros para trabajo en frío, aceros pulvimetalúrgicos, aceros para molde de plástico, aceros para trabajo en caliente y aceros maquinaria. A continuación, se presentarán aquellos aceros que están recomendados para el corte en la industria.

³ Axxecol S.A. Aceros de alto desempeño. [Sitio web] Bogotá D.C., S.f. [consultado: 11 julio de 2019] disponible en: <http://www.axxecol.com/Tecnica.html>

Cuadro 1 Aceros con aplicación de corte.

Aplicación	Calidades	Generalidades	Aplicaciones
Aceros para trabajo en frío	XW10 – RIGOR	Buena combinación de resistencia al desgaste y tenacidad, mayor templabilidad	Se usa en corte cizallado, punzonado, troquelado, desbarbado, tranzado, doblado, cuchillas rotativas, acuñado, embutición profunda, moldes de inyección y diferentes cuchillas industriales.
	XW5-SSVERKER 3	Materiales que requieran máxima resistencia al desgaste abrasivo como herramientas de corte y cizallado de materiales finos y duros, troqueles para largas series de producción.	Cuchillas para el corte de plástico abrasivos y madera, escariadores, mandriles y brochas.
	XW41 SVERKER 21	Buena tenacidad, en herramientas expuestas a esfuerzos de flexión cargas de impacto y compresión donde el desgaste sea abrasivo con riesgo de melladuras y roturas	Corte y conformado de materiales finos y duros. Se usa en corte, tranzado punzonado embutición profunda cizallado, corte de papel, plástico y madera.
Aceros pulvimetalúrgicos	Vanadis 6	Alta resistencia al desgaste adhesivo y abrasivo, buena tenacidad, alta resistencia la compresión, alta pureza, buena resistencia al revenido.	Para largas series de producción en troqueles, corte y corte fino de materiales duros, cuchillas, moldes de plástico y herramientas sujetas a condiciones de desgaste abrasivo
Aceros para trabajo en caliente.	ORVAR 2M (MICRO-DIZED)	Resistente a la abrasión, alta tenacidad. Buenas propiedades de templabilidad. Distorsiones limitadas	Herramientas de extrusión, molde de plásticos, troquelado, prensado en frío, cizallas de chatarra y cizalla en caliente

Fuente: elaboración propia, basado en Axxecol S.A. Aceros de alto desempeño. [Sitio web] Bogotá D.C., S.f. [consultado: 11 julio de 2019] disponible en: <http://www.axxecol.com/Tecnica.html>.

1.1.2 Corte por calor. Además de la cizalla se puede producir corte mediante el uso de energía en forma de calor, a continuación, se presentarán los métodos más usados en la industria plástica.

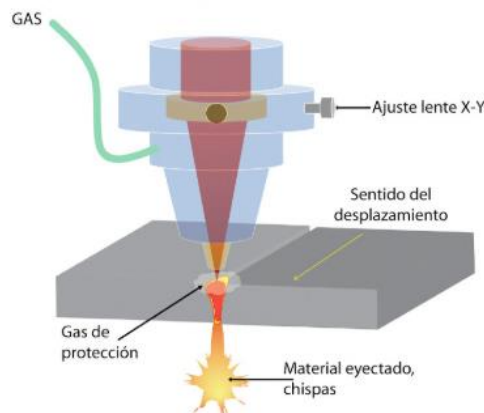
1.1.2.1 Láser (light amplification by stimulated emission of radiation). Según A. Cuesta⁴ Cualquier tipo de láser está compuesto por un medio activo, sistema de bombeo, y una cavidad óptica.

⁴ CUESTAS, Arranza Alberto. Tecnología láser. aplicaciones industriales. Barcelona. marcombo: ediciones tecnicas. 2011. 6 p. ISBN -13:978-84-267-1681-1.

Los átomos del medio activo aumentan a un estado de energía superior mediante la aplicación de bombeo (eléctrico y óptico), del cual descienden liberando fotones que rebotan gracias a su confinamiento en la cavidad óptica. Este proceso se llama amplificación, ya que una de las propiedades de los fotones es que, en el proceso de amplificación, y siempre que el resto de los átomos estén en el nivel de energía superior, si un fotón golpea a un átomo en el nivel de energía superior, se libera otro fotón con la misma longitud de onda que el inicial y dirección paralela. De esta manera, si un solo fotón se genera en el eje óptico (dirección privilegiada) de la cavidad resonante “y gracias a su amplificación y confinamiento”, se consigue que esa emisión estimulada se amplifique y genera un haz láser en el mismo eje óptico de la cavidad resonante. El resto de fotones generados que no se desplacen en la dirección del eje óptico no serán amplificados, ya que no rebotarán las suficientes veces en los espejos de la cavidad.⁵

El rayo incide en el material y lo calienta hasta que funde o evapora el material por completo. Para hacer el corte primero debe haber una penetración en un punto del material para dar paso al corte por la geometría que se espera.

Figura 6. Proceso de corte por láser: cabezal de corte por láser



Fuente: CUESTAS, Arranza Alberto. Tecnología láser. aplicaciones industriales. Barcelona. marcombo: ediciones técnicas. 2011. 6 p. ISBN - 13:978-84-267-1681-1..

Medio activo: Estado sólido: “son aquellos en los que el medio activo está incluido en un elemento sólido. Como parte más característica está la de que no pueden ser excitados mediante empleo de bombeo eléctrico ya que no conducen la corriente eléctrica. El bombeo óptico debe tener unas características muy concretas, por lo que no basta con iluminar de cualquier manera.”⁶ El láser más característico en el ámbito industrial es el neodimio YAG (Nd:YAG)

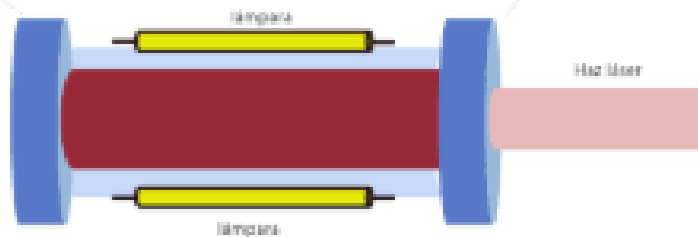
⁵ CUESTAS, Arranza Alberto. Tecnología láser. aplicaciones industriales. Barcelona. marcombo: ediciones técnicas. 2011. 6 p. ISBN -13:978-84-267-1681-1.

⁶ IBID

Sistema de bombeo. “Encargado de aportar al medio activo la energía necesaria para que los átomos aumenten su nivel de energía paso previo a la emisión de los fotones en este caso se hace uso del bombeo óptico.”⁷

Cavidad óptica. “Los fotones se generan en todas las direcciones por lo que mediante el empleo de la cavidad óptica se amplificaran los fotones generados en la dirección privilegiada, dirección que coincide con el eje óptico de la cavidad.”⁸

Figura 7. Bombeo Óptico



BOMBEO ÓPTICO

Fuente: CUESTAS, Arranza Alberto. Tecnología láser. Aplicaciones industriales. Barcelona. marcombo: ediciones técnicas. 2011. 6 p. ISBN -13:978-84-267-1681-1.

- ✓ Tipos de láser. Los tipos de laser más comunes para la industria plástica son:
 - Laser de fibra: “Los láseres de fibra pertenecen al grupo de los láseres sólidos. Generan el rayo láser mediante lo que se conoce como "Seed Laser" y lo amplifican en fibras de vidrio especialmente montadas a las que se suministra energía a través de diodos de bombeo. Con una longitud de onda de 1,064 micrómetros, los láseres de fibra consiguen un diámetro de foco muy pequeño”⁹

Diseñado para trabajar en materiales como: metales (revestidos o lacados) y plásticos.

- Láser Nd: YAG (granate de itrio-aluminio dopado de neodimio), Nd: YVO (ortovanadato de itrio dotado de neodimio) láseres de cristal: de los más usados en la industria, diseñados principalmente para marcar metales y plásticos, no pueden ser excitados mediante el bombeo eléctrico.

^{7 7} CUESTAS, Arranza Alberto. Tecnología láser. aplicaciones industriales. Barcelona. marcombo: ediciones técnicas. 2011. 6 p. ISBN -13:978-84-267-1681-1.

⁸ IBID

⁹ Trotec. Laser making cutting engraving. Resumen de los diferentes tipos de laser. Laser de CO2, vanadato y fibra. [Sitio Web] Barranquilla. Trotec. [consultado: 11 julio 2019] Disponible en: <https://www.troteclaser.com/es-co/tutoriales-ejemplos/faqs/tipos-de-laser/>

“El dopante usado en estos láseres solidos permite que se alcancen longitudes de onda de 1.064 μm , la cual es absorbida eficazmente todos los materiales excepto los orgánicos”¹⁰

1.1.2.2 Termosellado. Según la empresa Maplascalí S.A.S.¹¹ Consiste en soldar un material termoplástico a otro que sea compatible (puede ser multicapa) empleando calor y presión. Se utiliza en conectores electrónicos, adhesivos activados térmicamente y películas. Los principales termo selladores son por barra caliente y por impulso.

Sellador por alambre caliente: es un tipo de termosellado el cual suelda y corta materiales al tiempo, consiste en un alambre caliente, o en otras ocasiones una cuchilla de corte. Por lo general consiste en un método de contacto directo el cual utiliza un troquel caliente.

Figura 8. termosellado por alambre y por cuchilla



Fuente: Tecnología del plástico, [En línea] 30 de diciembre de 2013 [Consultado el 11 de julio de 2019] Disponible en: <https://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com/2013/12/termosellado.html>

En algunas industrias este sistema es usado con la aplicación de corte de una sola lamina, en la industria de láminas flexibles para flores tiene como principal aplicación, el corte y soldado de dos laminas; empleando el sellador por alambre caliente, para la fabricación de capuchones para flores, mostrados en la Figura 9

¹⁰ Trotec. Laser making cutting engraving. Resumen de los diferentes tipos de laser. Laser de CO2, vanadato y fibra. [Sitio Web] Barranquilla. Trotec. [consultado: 11 julio 2019] Disponible en: <https://www.troteclaser.com/es-co/tutoriales-ejemplos/faqs/tipos-de-laser/>

¹¹ Maplascalí S.A.S. Soluciones de empaque y llenado. [Sitio web]. Cali. Maplascalí. [14 de junio de 2018]. Disponible en <http://maplas.co/selladoras-automaticas/termo-sellado-tipos-de-sellado/#.XQrAOIhKjIU>

Figura 9. capuchones para flores.



Fuente: ITC Wilches S.A.S. [En línea]
<http://www.catalogodeempaques.com/ficha-producto/Capuchones-para-flores+122496>. Bogotá D.C., 2019.

1.1.3 Tabla comparativa. realiza un análisis por medio de comparación entre los diferentes métodos de corte previamente mostrados

Cuadro 2 Análisis comparativo de los sistemas de corte de plástico

Análisis comparativo de los sistemas de corte.			
Parámetros.	Corte por cizalla.	Corte por Láser.	Corte por termosellado de alambre caliente.
Proceso.	consiste en un elemento cortante que retire una fracción de material.	Rayo que incide sobre un material, que al calentarlo funde y/o evapora dicha porción.	Sistema que corta y suelda dos materiales al tiempo.
Tipos.	Guillotina (Manual, automática, semiautomática, programable).	Láser de CO2 o gas Láser de fibra Láser Nd: Yag, Nd.	Sellado por alambre caliente.
Corte de materiales plásticos.	Corte de laminas	Sistemas especializados	Corte de laminas
Corte limpio y recto.	Sistema apropiado.	Sistema apropiado.	Sistema apropiado.
Diseñado para altas velocidades.	Si.	Sistemas especializados	Si

Fuente: elaboración propia.

1.2 CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES.

A continuación, se presentarán las principales características generales de los materiales que se tomarán en cuenta para la realización del diseño.

1.2.1 Polímeros. “Un polímero es una gran molécula construida por la repetición de pequeñas unidades químicas simples. Es un compuesto químico formado por cadenas de monómero (unidad básica), cada polímero tiene propiedades determinadas para diferentes usos.”¹²

Se dividen en polímeros termoplásticos, termoestables y elastómeros.

Termoplásticos. son materiales los cuales al calentarse se ablandan (Se convierten en materiales deformables o flexibles) y al enfriarse se funden.

Termoestables. “Se endurecen al calentarse y no se ablandan al continuar calentando, solo el calentamiento a temperaturas excesivamente altas causa la rotura de estos enlaces entrecruzados y degradación del polímero. Por lo general son más resistentes, duros y frágiles que los termoplásticos.”¹³

Elastómeros. “Son materiales los cuales tienen la posibilidad de experimentar grandes deformaciones y recuperar elásticamente su forma primitiva.”¹⁴

Entre las propiedades más buscadas de los polímeros destacan:

- Elasticidad: se puede buscar también su ausencia, es decir, que no sea elástico
- Reflectante
- Resistente a golpes e impactos
- Dureza
- Fragilidad
- Paso de luz (opacidad, transparencia o translucidez)
- Maleabilidad
- Aislante

1.2.1.1 Policloruro de vinilo. Según Acoplásticos¹⁵ es conocido como PVC, es una combinación química entre carbono cloro e hidrogeno, sus componentes provienen

¹² BILLMEYER, Fred. Ciencia de los polímeros. España. Editorial Reverte. 2004. 3 P. ISBN 84-291-7048-0

1. ¹³ CALLISTER W. D. CIENCIA E INGENIERÍA DE MATERIALES. introducción a la ciencia e ingeniería de los materiales. ii, volumen 2. Editorial, Reverté. Barcelona. 2007

¹⁴ IBID.

¹⁵ Acoplásticos. ¿Qué es el PVC?. [Sitio web] Bogotá D.C., Acoplásticos. 2019. [Consultado el 21 de julio de 2019] Disponible en: <https://www.acoplásticos.org/index.php/mnu-pre/opm-bus-pref/37-opc-fag-pre5>

principalmente del petróleo en un 43% y la sal en un 57%, es un material termoplástico y reciclable y uno de los plásticos más usados por sus propiedades como:

- Alta resistencia mecánica al impacto o al aplastamiento
- Es fácil para convertir y usar en muy diferentes formas.
- Es fuerte y durable.
- A prueba de agua y resistente a la acción de productos químicos y a la corrosión.
- Muy buen aislante acústico, térmico y eléctrico. Además, es auto extingible y no propaga el fuego.
- Es un material innovador, que posibilita a los diseñadores mejorar productos y crear nuevos.
- De costo competitivo, permitiendo la producción de artículos de buena calidad a precios razonables.

4.1.4.1 Polipropileno.

Es un termoplástico obtenido por la polimerización del propileno, formado de enlaces simples carbono-carbono y carbono-hidrógeno, perteneciente a la familia de las poliolefinas. El polipropileno tiene una densidad 0,90 gr/cc y su estructura molecular básica consiste en un grupo metilo (CH₃) unido a un grupo vinilo (CH₂). El ordenamiento uniforme del grupo metilo estereoquímicamente genera la configuración isotáctica (la más usada en el polipropileno), que le confiere una cristalinidad y le ofrece un balance de propiedades que le hace apto para muchas de las aplicaciones en las cuales le vemos en la actualidad. se puede clasificar en tres tipos: homopolímero, copolímero random, copolímero de alto impacto¹⁶

Sus principales características son:

- Optima relación costo/beneficio
- Versatilidad
- Buena procesabilidad, posee el menor peso específico siendo de 0.9 g/cm³
- Barrera al vapor es decir no evita el paso de la humedad
- Buenas propiedades organolépticas químicas de resistencia y transparencia.

1.2.1.2 Tereftalato de polietileno (PET). “Es también conocido como PET, está compuesto por petróleo en un 64%, derivados líquidos del gas natural en un 23% y aire en 13%. A partir del petróleo crudo, se extrae el paraxileno y se oxida con el aire para dar ácido tereftálico. El etileno, que se obtiene a partir de derivados del gas natural, es oxidado con aire para formar etilenglicol. El PET se hace

¹⁶ Esenttia. Información sobre el polipropileno. Polipropileno y generalidades. [Sitio web] Cartagena. Esenttia. [Consultado: 20 de julio de 2019] Disponible en: /www.esenttia.co/?lang=es&opc=3&sel=2.

combinando el ácido tereftálico y el etilenglicol”¹⁷. Es completamente reciclable, siendo el material más reciclado, principalmente en botellas.

El PET puede ser usado como fibras, para alfombras ropa y telas de decoración, como empaques y envases de comidas bebidas perfumerías productos del hogar y licores y por último como film en radiología tapetes de video y audio.

1.2.2 Tabla comparativa. A continuación, se puede observar una tabla donde se compara las principales características de los materiales empleados en la empresa Inversiones Cristapack S.A.S.

Cuadro 3 Análisis comparativo de los plásticos.

Análisis comparativo de los plásticos.			
Características.	PET	PVC	PP
Denominación técnica	Tereftalato de polietileno	Policloruro de vinilo	Polipropileno
Tipo de polímero	Termoplástico	Termoplástico	Termoplástico
Proceso de transformación en láminas.	Extrusión	Extrusión	Extrusión
Punto de fusión.	260 °C	213 °C	160 °C
Modulo Elástico		30 000kg/cm	
Densidad	1,38 g/cm ³	1,4 g/cm ³	0,946 g/cm ³
Transparencia	Si	Si	Una vez se extruye debe pasarse por agua.
Reciclable.	Si	Si	Si
Elasticidad	Si	Si	Si
Aislante	Acústico Térmico.	Acústico Térmico Eléctrico	Térmico Eléctrico

Fuente: elaboración propia.

¹⁷ Gobierno del estado de México. Polietileno-Tereftalato. Programa sustentable de ahorro de recursos. [Sitio web] México. Secretaria de medio ambiente [Consultado el 21 de julio de 2019]. Disponible en: https://sma.edomex.gob.mx/que_es_polietilenotereftalato.

2. CONTEXTO ACTUAL DE LA EMPRESA.

2.1 EXPORTACIÓN DE FLORES

“Colombia es el segundo país con más exportaciones de flores en el mundo, posee gran variedad de flores principalmente: rosas, claveles, astromelias, crisantemos, pompones hortensias, anturios y heliconias. Las flores colombianas son conocidas por su gran calidad y variedad de colores”¹⁸

2.1.1 Proceso de producción y empaque de flores. El proceso tiene inicio con la fase vegetativa, fase en la cual se siembra, crece y se desarrolla la planta, es allí donde llega a etapa de maduración la flor, una vez terminado este proceso, se selecciona y se corta la flor de acuerdo a los requerimientos de los clientes; al recolectar las flores son transportadas al cuarto de recepción donde se hidrata la flor, a continuación, se dirige al área de clasificación, donde se retiran los pétalos y hojas deterioradas y se clasifican según su tamaño y color. Dependiendo de esta área se determina si será flor nacional o flor de exportación.

A la flor de importación se le pasa al área de manufactura, se embalan en grupos de flores de 12, 18 o 24 flores y son llevadas al área de corte donde se dejan en un tamaño exacto según indicaciones del supervisor, se hidratan y pasan al proceso de empaque y embalaje.

Se embalan principalmente en cajas corrugadas resistentes especialmente diseñadas para mantener condición de hibernación de la flor. Las flores deben cumplir con requerimientos fitosanitarios del país de destino por lo cual se debe evitar un rápido deterioro al momento de almacenarse y transportarse, debido a lo anterior, se envuelven en materiales resistentes (como PET, PVC y PP) que impiden la fricción entre las flores, además, se usan materiales que absorben la humedad para evitar la germinación de hongos (como el papel periódico). En ocasiones estos materiales vienen microperforados para la respiración de la flor. Al finalizar este proceso la flor puede ser transportada vía aérea o marítima a su lugar de destino en condición de hibernación.

2.1.1.1 Industria del plástico. Según el programa de Colombia productiva¹⁹ la industria del plástico pertenece al sector de la manufactura, es decir, hace parte del

¹⁸ Procolombia. Con flores colombianas se celebrará san Valentín. Exportaciones. [Sitio web] Bogotá D.C., Procolombia. 12 de febrero de 2013. [consultado el: 8 de julio de 2019]. disponible en <http://www.procolombia.co/archivo/con-flores-colombianas-se-celebrara-san-valentin>.

¹⁹ Colombia productiva, Ministerio de comercio, industria y turismo. Manufacturas; Plásticos y pinturas. [Sitio web] Bogotá D.C., S. A. Rico López. 2008. [Consultado el 14 de julio de 2019]. Disponible en: www.colombiaproductiva.com/ptp-sectores/manufactura/plastico-y-pinturas

sector secundario de la economía donde se transforman las materias primas del sector primario y se hacen nuevos productos con valor agregado.

“Para la obtención del plástico en forma primaria, se usa la polimerización de sustancias químicas para generar PP, PVC, PET, entre otros. A su vez para la transformación en variedades de productos se usan procesos de moldeo como inyección, soplado, extrusión. Para cada aplicación se tiene en cuenta las propiedades del polímero: resistencia, estabilidad, propiedades de barrera, procesabilidad y duración”²⁰

2.2 SITUACIÓN ACTUAL DE LA EMPRESA.

La empresa inversiones Cristapack S.A.S, fundada en el 2010 como una sociedad legalmente constituida, dedicada principalmente a la fabricación de productos poliméricos flexibles, empleando principalmente como materia prima el PET (El tereftalato de polietileno), PVC (policloruro de vinilo), y PP (polipropileno).

Figura 10. Logo de la empresa.



Fuente: Proporcionada por Cristapack.
Bogotá D.C., 2019.

2.2.1 Método de elaboración de los productos. La empresa Cristapack está dedicada a la fabricación y comercialización de materiales plásticos, para la fabricación emplea la extrusión como método principal. Según C. Rauwendaal²¹ la extrusión consiste en forzar el paso de un material a través de un cabezal o matriz, el cual proporciona la forma del producto final. Este proceso puede ser empleado en metales, arcillas, cerámicas y plásticos.

Se debe considerar que los polímeros se dividen en tres: termoplásticos, termoestables y elastómeros. El proceso de extrusión es apto para materiales termoplásticos, los cuales se ablandan cuando se calientan y se solidifican cuando

²⁰ BILLMEYER, Fred. Ciencia de los polímeros. España. Editorial Reverte. 2004. 593 p. ISBN 84-291-7048-0

²¹ RAUWWENDAAL. Chris. Polymer extrusion. 5ed. Munich. Hanser Publishers. 2014. 15 p. ISBN 978-1-56990-516-6

se enfrían. Los materiales pueden extruirse en estado fundido o en estado sólido. Cristapack realiza el proceso en estado sólido, proceso más conocido como plastificación donde el material se alimenta al extrusor en estado sólido y el material se funde a medida que se transporta mediante el tornillo extrusor desde el puerto de alimentación hasta la matriz.

Figura 11. Extrusión.



Fuente: elaboración propia.

Para la fabricación de láminas el proceso debe ser continuo por lo que se tiene como producto final bobinas de láminas lisas de empaque de flores, posteriormente se llevaran a cabo otros procesos.

2.2.1.1 Materias primas.

- PVC. Es usado principalmente para la fabricación de este producto debido a que posee propiedades como durabilidad, es a prueba de agua (lo cual es muy importante debido a la humedad de las láminas), es un buen aislante térmico (lo que permite conservar las temperaturas deseadas de las flores), y posee un costo competitivo.

Tabla 1. Ficha técnica PVC

Resistencia a la tracción	450-500 kg/cm ²
Resistencia a la compresión	610 kg/cm ²
Temperatura máxima de trabajo	50-70 °C
Temperatura mínima de trabajo	-20
Modulo elástico	30 000 kg/Cm ²
Densidad	1,4 g/cm ³
Reciclable	Si

Fuente: elaboración Propia Basado en: Emac. PVC. [Sitio web]. España. Emac. 2010. [Consultado el 2 de agosto de 2019]. Disponible en: https://www.construnario.com/bc3/3647/FT_PVC.pdf.

- PP. Es usado principalmente para la fabricación de las láminas de empaque, debido a que impide el paso de la humedad, lo cual, es de gran importancia debido a que se quiere impedir el exceso de humedad, para evitar la germinación de hongos. Posee alta resistencia y transparencia.

Para sus productos la empresa usa un homopolimero especialmente diseñados para bolsas de empaque y láminas de propósito general de la empresa Esenttia, el cual tiene aplicaciones para extrusión en fibra, y para películas enfriadas por agua.

Tabla 2. ficha técnica del PP.

Referencia. 08H85-1	
Propiedades físicas.	
Velocidad de fundido. (230°C/2,16Kg)	7,5 g/10 min (ASTM D 1238)
Temperatura.	230°C
Carga.	2,16 kg
Propiedades mecánicas.	
Esfuerzo de fluencia a tracción.	32,4 Mpa
Alargamiento a la fluencia	11%
Módulo de flexión.	1275 Mpa
Reciclable	Si

Fuente: elaboración propia Basado en, Esenttia. Catálogo de producto. Learn about technical information to build the future together. [En línea]. Bogotá D.C., 2012. [Consultado el 2 de agosto de 2019]. 14 p. Disponible en: www.esenttia.co/downloadableFiles/catalogo_servicios/Catalogo_ingles.pdf

- PET. Este material es apto para la fabricación de láminas, posee alta transparencia, alta resistencia al desgaste, al igual que el P.P. Posee muy buena barrera a la humedad.

Tabla 3. Ficha técnica PET

Propiedades físicas.	
Temperatura de fusión.	260 °C
Densidad.	1,38 g/cm
Propiedades mecánicas.	
Esfuerzo de fluencia a tracción.	59 – 72 Mpa
Resistencia a la compresión	76-128 Mpa
Reciclable	Si

Fuente: elaboración Propia. Basado en: Revista tecnología del plástico. [En línea]. Mayo 2007. [Consultado el 2 de agosto de 2019]. Disponible en: <http://www.plastico.com/temas/Propiedades-termicas-y-mecanicas-del-PET-reciclado-y-sus-mezclas+3056093>

2.2.2 Servicios que ofrece la empresa. Inversiones Cristapack tiene como productos principales la película extensible en PVC atóxica, y las láminas de empaque de flores, a continuación, se explicará a mayor profundidad en que consiste cada uno de estos.

2.2.2.1 Película extensible en PVC atóxica: es una película transparente, elástica, adherente y resistente. Utilizada principalmente para la industria de alimentos donde se requiere empaque de res, pollo fritas y demás; su objetivo es impedir la entrada de bacterias y mantener la frescura. En el sector industrial se usa para el empaque de muebles, libros maletas, entre otros.

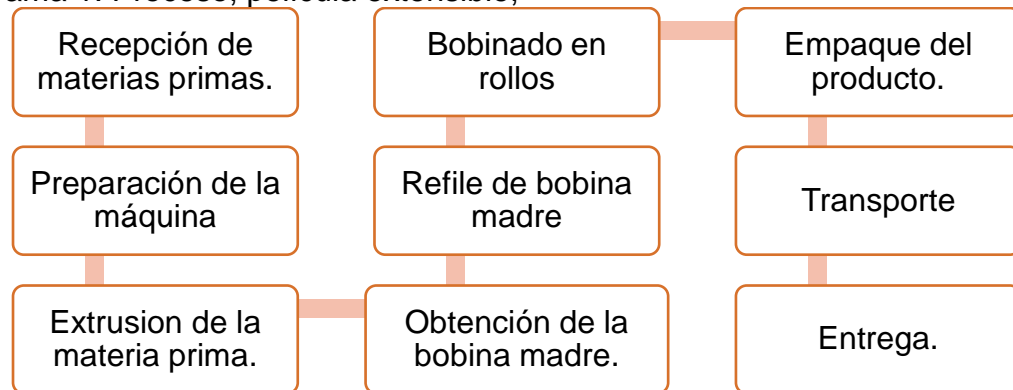
Figura 12. Rollos de película extensible.



Fuente: Cristapack, catálogo de Cristapack S.A.S. Bogotá D.C., 2019.

✓ Proceso de producción de la película extensible. A continuación, se presenta el proceso de producción del vinipel, el cual inicia en el momento de la recepción de las materias primas, hasta el momento de su entrega.

Diagrama 1. Proceso, película extensible,



Fuente: elaboración propia.

2.2.2.1 Empaque flexible para flores. Es una lámina de empaque para rosas de exportación, esta era en un comienzo de PVC, pero actualmente posee variedad de materiales como PP, PET y PVC, además esta puede incluir impresión, micro perforación y papel periódico.

2.2.2.2 Empaque flexible para flores.

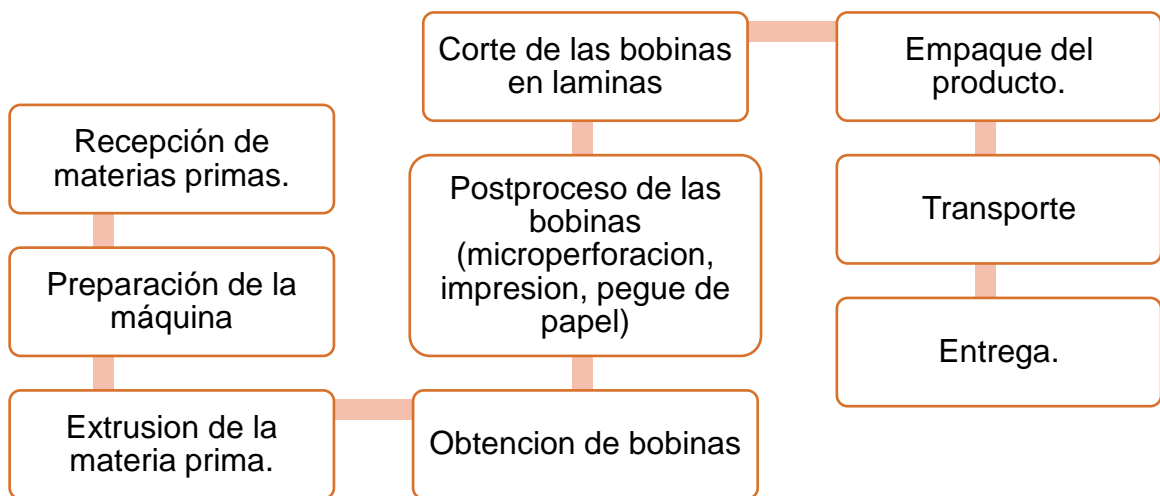
Figura 13. Tipos de empaque para flores, microperforada lisa con papel



Fuente: Proporcionada por Cristapack, catálogo de Cristapack S.A.S. Bogotá D.C., 2019.

✓ Proceso de producción empaque de flores.

Diagrama 2. proceso, láminas de empaque de flores.



Fuente: elaboración propia.

Postproceso. Una vez extruidas las láminas, se realiza un postproceso, en las láminas para empaques de flores, se pueden emplear 3 diferentes procesamientos:

- Micro perforación, la empresa posee una refinadora con una unidad de micro perforación, por la cual se pasa la bobina, estas perforaciones permiten la respiración de la flor al momento de trasportarlas.
- Impresión. En las láminas de PET algunos clientes solicitan la impresión de “Hecho en Colombia”.
- Pegue de papel. Como se ha nombrado con anterioridad, una vez son embaladas las flores, estas transpiran y generan humedad la cual debe ser absorbida para evitar la germinación de hongos, esta es la función que cumple el papel periódico, esta es pegada con una pequeña línea de pegante en el centro a las láminas de PET.

✓ Producción actual de láminas de empaque de flores. Actualmente la empresa utiliza como materia prima bobinas de PET, PVC o PP, donde se manejan anchos de 200 mm o 250 mm, estas bobinas también pueden ser impresas, microperforadas o con papel, dependiendo de las necesidades del cliente, las cuales se realizan por medio de pedido.

- Peso bobina. El peso de la bobina varía dependiendo del tipo de lámina o película:

Tabla 4. Características generales de las diferentes bobinas

Tipo de lamina	Peso (kg)	Calibre (µin)	Longitud de corte (mm)
Lisa	Entre 40 – 45	5 – 7	500 – 800
Con papel, micro perforada o impresa	28 – 30 (el papel aumenta el 20% del peso)		

Fuente: elaboración propia.

- Capacidad de producción: La transformación de los pellets en láminas se lleva a cabo por medio de la extrusión, este proceso tiene una estimación de 25 Kg por hora.

Tabla 5. Capacidad de producción.

Procesos previos al corte		
Tipo de lámina.	Cantidad (Kg)	Tiempo (horas)
Micro perforación con papel	600	12
Impresión con papel	600	12
Corte por persona aproximado.		
Sin importar el tipo de material	250	8

Fuente: elaboración propia.

2.3 ESTADO ACTUAL DEL SISTEMA DE CORTE EN LA INDUSTRIA.

Como se había dicho en un comienzo la empresa posee problemas de baja productividad, reproceso del producto terminado, calidad inadecuada, pérdida de materia prima y afectación física de los operarios. El problema es generado principalmente en la zona de corte, zona en la cual afectara el presente proyecto, es por esto que a continuación se describirá la situación actual de esta zona.

- Costo mano de obra actualmente.

Tabla 6. Costo de mano de obra de un solo operario en el área de corte.

Un operario		
SUELDO BASICO	\$	828.116
TRANSPORTE	\$	97.023
CESANTIAS	\$	77.095
INTERESES	\$	9.251
CESANTIAS	\$	9.251
PRIMA	\$	77.095
VACACIONES	\$	34.505
PENSION	\$	8.281
RIESGOS	\$	20.173
CAJA	\$	33.125
COMPENSACION	\$	33.125
TOTAL	\$	1.184.664

Fuente: proporcionado por Cristapack. Julio 2019. Bogotá D.C.

- Duración de la jornada laboral. 8 horas

- Numero de operarios en área de corte. La contratación de empleados se realiza por medio de contratos de obra, por lo que en las altas temporadas (san Valentín, día de la madre, amor y amistad) se tienen 5 empleados dedicados a la producción de película para empaque de flores.

2.3.1 Descripción de la máquina de corte de la empresa Cristapack. Cortadora de guillotina con hoja giratoria: consiste en una guillotina de plástico presentada en la figura 14, la cual tiene un tamaño de 21 x 43,5 cm, realiza cortes rectilíneos para papel o laminas delgadas, posee alta precisión.

Figura 14. Cortadora de la empresa Cristapack



Fuente: elaboración propia.

Tabla 7. Variables que intervienen

Variables que intervienen.	
Marca	KW trio.
Modelo	13016
Tamaño	21 cm x 43,5 cm
Peso de la guillotina:	1,55 kg
Tipo de cuchilla:	Rodaja
Sistema de corte.	Manual.
Capacidad de corte	10 hojas/corte de papel común
Cantidad de hojas	1 hoja/corte de 1,27mm
Velocidad promedio de corte	22 cortes/min
Potencia.	No aplica (Manual)

Fuente: elaboración propia Basado en los datos proporcionados por Cristapack.

2.3.1.1 Material reprocesado. existe laminas, tramos mal cortados o laminas que no cumplen con la calidad exigida por los clientes, los cuales se acumulan y se muelen para reprocesarlos.

Figura 15. Tramos y laminas que no cumplen con la calidad



Fuente: elaboración propia.

2.4 PARAMETROS Y REQUERIMIENTOS ACTUALES DE LA EMPRESA.

Para suplir la necesidad de realizar el corte de manera adecuada de las láminas de empaque de flores, son necesarios los parámetros tanto del cliente, diseño como de funcionamiento. Además, del conocimiento de los factores que influyen en el área de producción, es decir, el área donde se implementara la máquina de corte.

En cuestiones generales, la máquina deberá ocupar un espacio máximo de 4,60m x 3m (predispuesto por la empresa), Asimismo, están incluidas “las zonas de paso que deben preverse, delimitarse y distribuirse en función del proceso y asimismo disponer de iluminación adecuada”²².

Según la empresa se toma como zona de delimitación para las zonas de trabajo 1m en cada lado de la máquina para seguridad. Adicionalmente máximo se permite un consumo de 2 Hp en el motor principal.

²² CREUS, Antonio y MANGOSIO, Jorge. Seguridad e higiene en el trabajo. enfoque integral. Buenos Aires. AlfaOmega. 2011. ISBN 9789871609192.

5.1.1 Producción diaria esperada. La empresa requiere el corte de 1 tonelada diaria, por lo cual debe realizar un corte de 44 ciclos/minuto, donde se permita el corte con medidas variables entre 500 mm y 800 mm longitudinalmente, además realizar un corte con calidad de láminas de calibre de 0.004 pulgas a 0.007 pulgadas, es decir, 101,6 μm a 177,8 μm de los materiales empleados en la empresa (PET, PVC, PP). Para hallar el número de ciclos por minuto, se estimó cual es la lámina que más se adquiere a lo que se llegó a que el 90% de los pedidos tienen las siguientes características:

Calibre: 6 milésimas de in = 0,006in = 0,01524cm

Medidas estándar:

- Largo: 75 cm
- Ancho: 25 cm
- Área: 1875 cm^2
- Volumen: 28,575 cm^3

Tabla 8. densidad de la materia prima.

Materiales	densidad (g/cm^3)
PET	1,34
PVC	1,24
PP	0,91

Fuente: elaboración propia

Una vez consultada la masa de los materiales se procede al cálculo de la masa de una sola hoja.

Ecuación 1. masa.

$$m = \rho * V$$

Fuente: SERWAY Raymond. Mexico D.F. Cengage learning. 2008. 6 p. séptima edición. ISBN ISBN-13: 978-607-481-357-9

Tabla 9. Masa de una hoja de los diferentes materiales.

Materiales	masa (gr)
PET	38,29
PVC	35,44
PP	26

Fuente: elaboración propia.

Se toma la menor masa, la cual corresponde a la masa más crítica, es decir donde se necesitan más cortes para cumplir con la meta requerida, esta corresponde al polipropileno. Teniendo en cuenta que son dos bobinas se procede a calcular la masa de un solo corte.

Tabla 10. Masa del polipropileno en un corte.

Bobinas	1	2	Unidades.
Masa	26	52	Gr
	0,026	0,052	Kg

Fuente: elaboración propia. Julio de 2019. Bogotá D.C.

Es decir, al realizar un corte se obtendrán dos hojas con una masa total de 0,052kg

Ecuación 2. Numero de cortes

$$\text{numero de cortes} = \frac{1 \text{ kg} * 1 \text{ corte}}{0,052 \text{ kg}} = 19,23 \text{ cortes} = 20 \text{ cortes}$$

Fuente: elaboración propia.

Para cortar 1 kg son necesarios 20 cortes.

Si la empresa requiere el corte de 1 tonelada diaria, teniendo en cuenta que se trabajaran 8 horas diarias. Se asumió que la máquina tendrá una disponibilidad del 100% pero su operación no será del 100% del tiempo debido a los montajes y desmontajes o descargue del material, se va a suponer que trabaja el 95%.

- Producción esperada: 1 tonelada/diaria= 1000 Kg/diarios
- Horas de trabajo: 7,6 horas/diarias/ = 7 horas, 36 min

Ecuación 3. Flujo masico

$$\text{Flujo masico} = \frac{1000 \frac{\text{kg}}{\text{diarios}}}{7,6 \frac{\text{h}}{\text{diarias}}} = 131,58 \frac{\text{kg}}{\text{h}} * \frac{1 \text{ h}}{60 \text{ min}} = 2,19 \frac{\text{kg}}{\text{min}}$$

Fuente: SERWAY Raymond. Mexico D.F. Cengage learning. 2008. 400 p. séptima edición. ISBN ISBN-13: 978-607-481-357-9

Tabla 11. flujo masico.

131,57	kg/h
2,1929	kg/min

Fuente: elaboración propia.

- Densidad de corte.

Si 20 cortes → 1 Kg

Cuantos cortes → 2,19 Kg

Ecuación 4. Cortes necesarios.

$$\text{cortes en 1} = \frac{20 \text{ cortes} * 2,19 \text{ Kg}}{1 \text{ Kg}} = 43,8 \text{ cortes} = 44 \text{ cortes}$$

Fuente: elaboración propia.

Es decir, hay que realizar 44 cortes/minuto para que la empresa pueda cumplir la meta de cortar 1000 Kg diarios.

2.4.2. Parámetros y requerimientos de diseño y del cliente. Principalmente la máquina se compone de la estructura y sistemas de corte, control y potencia. Donde el arrastre y corte de las láminas debe ser automático, teniendo en cuenta un control de tensión para evitar la rotura del material.

Además de lo anterior, la zona de descargue de material deberá tener un sistema donde las láminas al ser cortadas deben permanecer en un orden para facilitar el trabajo del operario y una altura entre los 80 y 90 cm para confort y ergonomía del operario (se considera que la altura correcta de trabajo es aquella donde se puede mantener el antebrazo en posición horizontal o ligeramente inclinada hacia abajo).

Por último, tener en cuenta cuestiones de seguridad, facilidad de operación y mantenimiento donde los repuestos sean de fácil adquisición. A continuación, se harán especificaciones más detalladas en los sistemas principales de la máquina.

2.4.2.1. Parámetros y requerimientos para diseñar el sistema de corte. Como requerimiento y parámetro principal se exige que el sistema de corte y dosificación sea automático. Por lo que se debe evaluar qué tipo de sistema es el más apropiado para el movimiento de la cuchilla de corte, el cual, vencerá la resistencia al corte y deformación. Además, el sistema debe proporcionar calidad y precisión al corte.

2.4.2.2. Parámetros y requerimientos para diseñar el sistema de potencia y control. La fuente de potencia de la máquina será eléctrica mediante un motor principal, que

ofrece el aporte de energía mecánica suficiente para el buen funcionamiento de los sistemas y por consiguiente toda la máquina. Así mismo, como se nombró en un comienzo el sistema debe ofrecer la posibilidad de corte de medidas variables (entre 50 cm y 80 cm) gracias al sistema de control y tener un consumo máximo de 2 Hp.

2.4.2.3. Parámetros y requerimientos para diseñar la estructura. La máquina tendrá alimentación manual, por lo que su diseño consistirá en la estructura, estará compuesta por dos entradas de bobina, un freno y se tendrá un balancín para el control de la tensión y asegurar que no haya rotura de material.

En cuestiones generales la estructura debe soportar el peso de las bobinas y los elementos sin sufrir deformaciones. Además, de poseer un sistema de descargue que permita mantener un orden del material posteriormente cortado.

2.5 EVALUACIÓN DE LOS SISTEMAS.

Como se puede observar en el siguiente cuadro se encuentran las variables en las cuales debe intervenir y/o mejorar al momento de implementar el proyecto. Principalmente las variables más importantes consisten en el corte automático, la velocidad de corte, la producción diaria por operario y la ergonomía, debido a que, al poder cumplir con los requerimientos del sistema, se puede aumentar la producción disminuir gastos, y reducir el riesgo a enfermedades laborales. Al requerirse un sistema automático, se obtendrá una mayor calidad en la cual no exista variaciones de las dimensiones y el corte será recto y con calidad.

Tabla 12. Variables a mejorar.

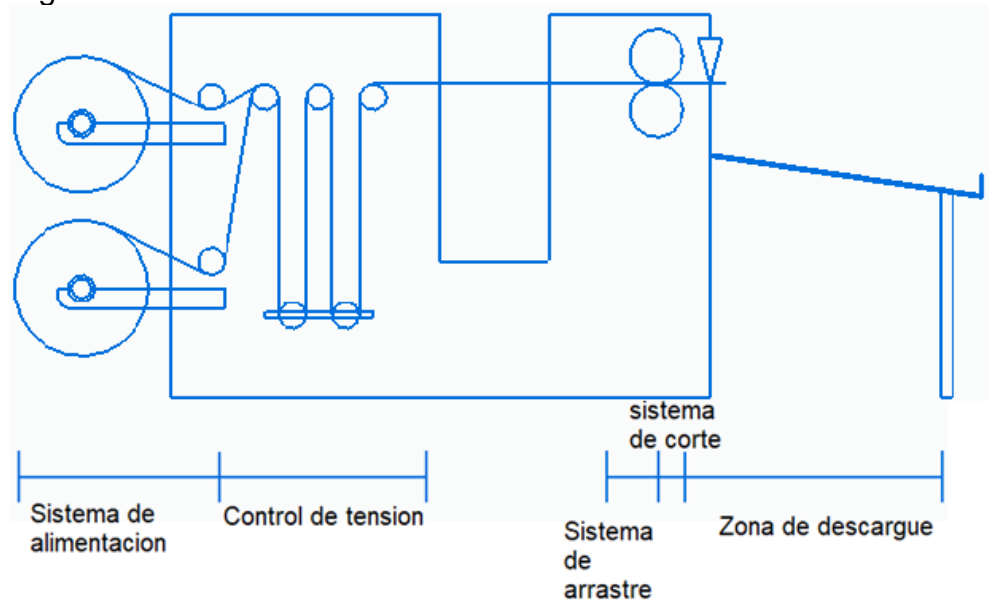
Parámetros del cliente	Sistema actual.	Sistema requerido.
Producción diaria/ operario	200 kg - 250 Kg	1000 kg
Cantidad de hojas/corte	1	2
Ergonomía	No	Si
Sistema de corte y dosificación automático	No	Si
Potencia	Manual	Máximo 2 Hp.
Parámetros de funcionamiento.		
Velocidad de corte promedio	22 cortes/min	44 Cortes/min
Medidas longitudinales de corte.	50 cm – 80 cm	50 cm – 80 cm
Parámetro de diseño		
Medidas	0,21 m x 0,435 m	Máximo 2,60m x 1m
Sistema de potencia	No	Si
Control de tensión	No	Si
Sistema de alimentación	No	Si

Fuente: elaboración propia.

3. METODOLOGÍA DE DISEÑO DE MÁQUINA CORTADORA PARA EMPAQUE FLEXIBLE

Una vez obtenidos los parámetros de la máquina es necesario plantear diversas alternativas, las cuales se evaluarán para identificar la opción más adecuada. Para comenzar se tendrá en cuenta un prediseño el cual será una guía para los sistemas y elementos que contendrá el proyecto.

Figura 16. Prediseño



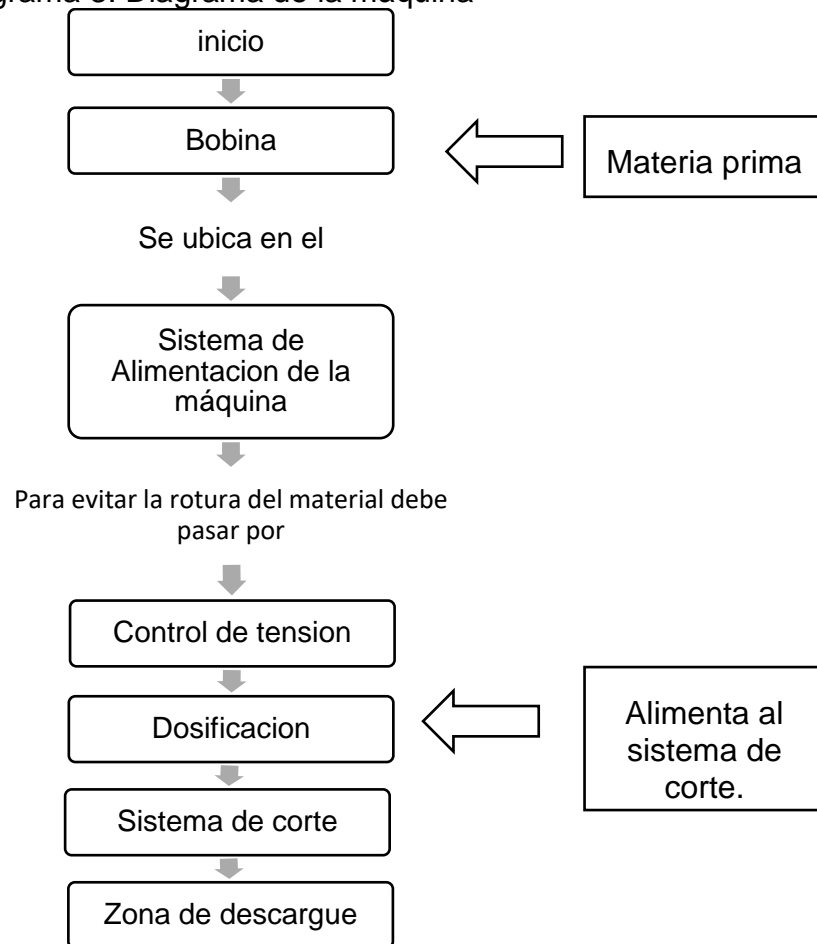
Fuente: elaboración propia.

Diseño funcional. Se realiza el diseño general de la máquina cortadora de empaque flexible en donde el recorrido de las láminas consiste principalmente en el montaje de la bobina en el sistema de alimentación, a continuación, la lámina pasa por los rodillos tensores, hacia la zona de dosificación, es allí donde el sistema de potencia realiza el avance de la lámina y por último el sistema de corte realiza el corte de la lámina a la medida programada.

5.2 DIAGRAMA DEL PROCESO.

Para una mejor comprensión del sistema se representará mediante un diagrama de proceso, donde se explique de manera sencilla el recorrido que realizarán las láminas a través de la máquina.

Diagrama 3. Diagrama de la máquina



Fuente: elaboración propia.

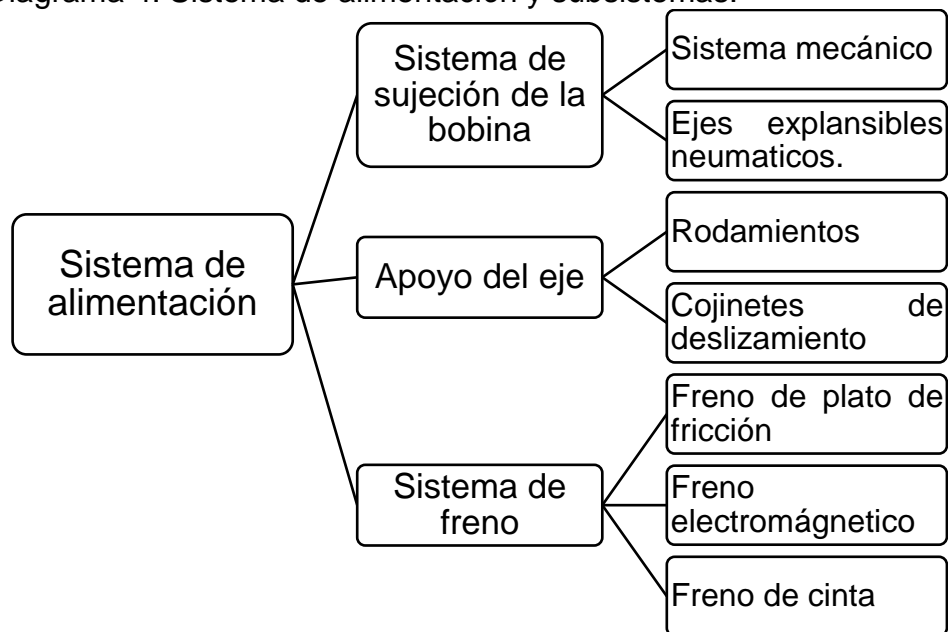
Según lo anterior se hará el análisis de las alternativas de 4 sistemas diferentes:

- Sistema de alimentación,
- Sistema de arrastre y corte; los cuales se evaluarán de manera simultánea ya que los dos deben trabajar de forma paralela y complementaria,
- El sistema de potencia y control; se evaluará cual es el mejor sistema para el movimiento cíclico que debe realizar la máquina, y cuál es el sistema de control más adecuado la variación de medidas según el sistema seleccionado.
- Estructura; donde se analizará la estructura en forma general, además, el sistema de control de tensión y la zona de descargue,

5.3 PLANTEAMIENTO Y SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS DEL SISTEMA DE ALIMENTACIÓN.

Es aquel sistema donde se alimenta a la máquina por medio de bobinas previamente procesadas o totalmente lisas. Este sistema constara principalmente por 3 subsistemas: sujeción de la bobina, apoyo del eje y sistema de frenado. A continuación, se evaluarán criterios para cada sección y así seleccionar la opción más adecuada entre alternativas, teniendo en cuenta el peso, y el diámetro del cono o core de la bobina.

Diagrama 4. Sistema de alimentación y subsistemas.



Fuente: elaboración propia.

3.1.1 Sistema de sujeción de la bobina.

Se necesita un sistema que acople al cono de la bobina con el sistema de alimentación, para dicho ajuste se han establecido dos alternativas de solución, la primera consiste en un sistema mecánico y el segundo sistema neumático.

3.1.1.1 Sistema mecánico: Consiste en una manzana o trompo el cual se ajusta mediante el apriete de un tornillo.

Figura 17. sistema mecánico.



Fuente: elaboración propia.

Criterios.

- Acoplable al diámetro del cono: al tener forma de trompo, permite adaptarse a medidas de mayor tamaño o menor, siempre y cuando se tenga en cuenta la tolerancia que tiene el trompo.
- Facilidad de montaje: su montaje consiste en el acople de las manzanas en cada extremo de la bobina como en la siguiente figura.
- Es un sistema sencillo, fiable y seguro, no permite el deslizamiento de bobina en direcciones indeseadas.

Figura 18. Modo de empleo de las manzanas



Fuente: elaboración propia

- Costo: su costo es de aproximadamente:

Tabla 13. Costo aproximado de la fabricación de manzanas mecánicas.

• Tipo de fabricación.	• Costo aproximado.
• Fundición	• 60 000 COP
• mecanizado	• Material: 15 000 COP • Fresado: 70 000 COP • Total: 85 000 COP

Fuente: elaboración propia, con base en los costos proporcionados por Cristapack.

Las manzanas deben ir acompañadas de un tornillo y una llave para el ajuste de dicho tornillo.

- Mantenimiento. Únicamente requiere mantenimiento correctivo cuando los tornillos se ruedan, a pesar de esto, es un mantenimiento que se lleva a cabo a largo plazo.

3.1.1.2 Ejes neumáticos expandibles. “Para el funcionamiento disponen de una cámara de aire interior que cuando se infla, desplaza los expansores neumáticos de goma en toda la longitud del eje. Para cambiar la bobina simplemente hay que desinflar la cámara de aire ejerciendo un poco de presión en la válvula, poner un nuevo bobinado e inflar de nuevo con la pistola infladora de aire”²³

Figura 19. Eje neumático expandible.



Fuente: EJEMATIC. Ejes Expansibles. [En línea]. 2019. Barcelona [Consultado: 29 de julio de 2019]. Disponible en: ejematic.com/wp-content/themes/ejematic-divi-child/files/ejematic_cat_alta.pdf.

Criterios.

- Acoplable al diámetro del cono: Según las empresas productoras de ejes neumáticos, se fabrican en diferentes materiales, principalmente en aluminio y pueden ser en cualquier medida deseada, tanto su diámetro como su longitud.

²³ EJEMATIC. Fabricación de ejes expansivos neumáticos. [Sitio web]. Barcelona. 2016. [Consultado el 29 de julio de 2019] Disponible en: <http://www.ejematic.com/productos/>

- **Facilidad de montaje:** Según la empresa Sifer S.A.²⁴ son mecanismos que permiten una sujeción firme, ágil, facilita el montaje y desmontaje de bobinas.
- **Costo:** Se realizó la comparación de varios fabricantes, entre los cuales se encontró a la empresa Tianji, quien ofrece el producto a 80 dólares, el cual representa el menor precio encontrado de estos. Aunque el precio puede llegar a ser en otras empresas de 200 dólares.
- **Mantenimiento:** Consiste principalmente en mantenimiento correctivo, cuando el eje no se expande como debe ser, es aquí, cuando se sustituye la cámara o se rectifican las bridas.

Para la evaluación se utilizará el método QFD (Quality Function Deployment), donde se tendrá en cuenta los siguientes valores.

Cuadro 4. Clasificación según importancia de los ¿Qué?

1	No es importante
2	Importancia baja
3	Importancia media
4	Importante
5	Muy importante

Fuente: elaboración propia. Basado en: Método QFD.

Cuadro 5. Situación actual del producto respecto al ¿Qué?

1	Muy mala situación
2	Mala situación
3	Situación media.
4	Buena situación
5	Muy buena situación

Fuente: elaboración propia. Basado en: Método QFD.

Cuadro 6. Relación entre, ¿Qué? y ¿Cómo?

0	Sin relación
1	Baja relación
3	Media relación
9	Alta relación

Fuente: elaboración propia. Basado en el método QFD.

²⁴ Sifer S.A. Ejes neumaticos. asesoria y soluciones en manejo de fluidos. [Sitio web]. Bogotá D.C., Sifer S.A. 2019 [Consultado el 31 de julio de 2019]. Disponible en: <https://www.sifer.com.co/lineas/ejes-neumaticos/>

Tabla 14. Tabla multicriterio QFD, en el sistema de sujeción de la bobina.

Sujeción de la bobina																				
	Facilidad de montaje y desmontaje	Sistema que se acople al core	Sistema que permita el arrastre de la bobina en diferentes direcciones para alinear	Eje que soporte 50 kg sin deformación.	bajo peso del sistema para evitar lesiones a los operarios.	Bajo costo de mantenimiento	repuesto con facilidad de conseguir,	Bajo costo de inversión inicial.	importancia para el usuario (1 a 5)		sistema de corte actual - manual.	Sistema mecánico. Manzanas	Sistema neumático. Ejes expandibles		objetivo (1 a 5) mucho = es importante	ratio de mejora	argumento de venta (1, 1'2, 1'5)	pondreacion absoluta = (1)*(8)*(9)	pond relativa (%)	orden de importancia
Bajos tiempos de montaje y desmontaje	9	3	0	0	0	0	0	0	5		1	4	5		5	5	2	37,5	24,95	1
Firme ajuste del core de la bobina	3	9	3	0	0	0	0	0	4		1	5	5		4	4	2	24	15,97	2
Permita alineacion entre las bobinas.	3	1	9	0	0	0	0	0	5		1	3	4		4	4	1	24,0	15,97	3
Soporte del peso de la bobina.	1	0	3	9	0	1	1	0	3		1	5	5		4	4	1	14,4	9,58	5
Ergonomia.	3	0	1	0	9	0	0	0	5		1	4	5		4	4	1	24	15,97	4
Facilidad en el mantenimiento.	0	0	0	3	0	9	9	0	3		1	4	4		4	4	1	12	7,98	7
Bajo costo de fabricacion.	0	0	0	0	0	0	0	9	4		1	5	3		3	3	1	14,4	9,58	6
x																		150,30	100	
Orientacion deseada	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑												
Ponderación abs	378	235	236,327	110,2	143,7	81,4	81,4	86		1351,697										
Ponderación rel	28	17,4	17,4838	8,151	10,63	6,02	6,02	6,4		100										
Orden de importancia	1	2	3	5	4	7	8	6												
Valoracion tecnica	si/no	si/no	si/no	si/no	si/no	si/no	si/no	si/no												
sistema de corte actual - manual	0	0	0	0	1	1	1	0												
sistema mecanico, manzanas.	1	1	0	1	1	1	0	1												
sistema neumático. Ejes expandibles.	1	1	1	1	1	1	1	0												
Objetivo tecnico	1	1	1	1	1	1	1	1												

Fuente: elaboración propia. Basado en el método QFD.

El método QFD, permite conocer que la eficiencia en el tiempo de montaje y desmontaje, junto al firme ajuste de la bobina son los elementos con mayor prioridad a cumplir. Según los datos en la tabla anterior, el sistema neumático es el sistema que cumple con mayor satisfacción estos dos factores, comparado con el sistema actual, este sistema es más moderno y al inflar el sistema se acopla al diámetro del cono sin problema alguno, así mismo este sistema nos permite la alineación entre las bobinas sin necesidad de adicionar una horquilla de arrastre.

3.1.2 Apoyo del eje. Consiste en un sistema que permite el movimiento giratorio libre del eje que soportara la bobina. Para esta labor existen dos sistemas; el

primero es conocido en la industria como cojinetes de deslizamiento, y el otro sistema consiste en el uso de rodamientos, aplicación empleada actualmente en la empresa en otros procesos.

3.1.2.1 Cojinetes de deslizamiento.

Criterios.

- Facilidad de montaje y desmontaje. Es un sistema con una gran facilidad de montaje. Para que el sistema funcione según la aplicación, se necesita un cojinete conformado por dos media lunas así se puede situar y quitar la bobina.
- Costo. Para la fabricación de estos cojinetes, se investigó y estos no se encuentran estandarizados, lo que significa que hay que mandarlos a hacer en diferentes partes. La primera consiste en la adquisición de los materiales que puede ser un aproximado de 50.000 pesos cada uno, además de esto la fabricación de la base y tapa tiene un aproximado de 300.000 COP, además de la mano de obra.
- Mantenimiento. consiste en la limpieza y lubricación, además debido a que el sistema sufre desgaste debido al rozamiento que se genera se debe hacer cambio de ciertas piezas

3.1.2.2 Rodamientos.

Criterios

- Facilidad de montaje y desmontaje: Es el sistema con más facilidad de montaje encontrado en la industrial. consiste en dos rodamientos paralelos ubicados para apoyar el eje en el medio como se muestra en la Figura 20.

Figura 20. empleo del sistema de rodamientos



Fuente: elaboración propia.

- Costo. Su costo es bajo ya que solo consiste en rodamientos y tornillos.
- Mantenimiento. Mantenimiento correctivo, se da a largo plazo ya que su desgaste es mínimo.

Tabla 15. Tabla multicriterio QFD, en el apoyo del eje

Apoyo para el eje.																
	Facilidad de montaje y desmontaje	permite el libre giro sin desviaciones de sentido (izquierda y derecha)	Tener en cuenta las altura de ergonomía para ubicar la bobina	Bajo costo de mantenimiento	repuesto con facilidad de conseguir,	Bajo costo de inversion inicial.	importancia para el usuario (1 a 5)	sistema de corte actual - manual.	rodamiento cojinetes de deslizamiento	objetivo (1 a 5) mucho = es importante	ratio de mejora	argumento de venta (1, 1'2, 1'5)	pondreacion absoluta = (1)'(8)'(9)	pond relativa (%)	orden de importancia	
Bajos tiempos de montaje y desmontaje	9	0	3	0	0	0	5	1	5	4	5	5	1,5	37,5	44,86	1
Permita libre giro de la bobina	0	9	0	0	0	0	4	1	5	5	5	5	1,2	24	28,71	2
Ergonomia.	3	0	9	0	0	0	5	3	4	3	4	1	1,2	8,0	9,57	4
Facilidad en el mantenimiento.	0	0	3	9	9	0	3	2	5	4	3	2	1	4,5	5,38	5
Bajo costo de fabricacion.	0	0	0	0	0	0	9	4	2	3	4	2	1,2	9,6	11,48	3
x														83,60	100	
Orientacion deseada	↑	↑	↑	↑	↑	↑										
Ponderación abs	432,42	258,3732	236,8	48,4	48,44	103										
Ponderación rel	38,339	22,90805	21	4,3	4,295	9,16										
Orden de importancia	1	2	3	5	6	4										
Valoracion tecnica	si/no	si/no	si/no	si/no	si/no	si/no										
sistema de corte actual: manual.	0	0	0	0	0	1										
rodamientos.	1	1	1	1	1	1										
cojinetes de deslizamiento.	1	1	1	0	0	0										
Objetivo tecnico	1	1	1	1	1	1										
								1127,871								
								100								

Fuente: elaboración propia. Basado en el método QFD.

Según el método multicriterio QFD, el criterio más importante es la eficiencia de montaje y desmontaje, teniendo en cuenta esto, la mejor alternativa consiste en el uso de rodamientos, este método al tener una facilidad de montaje y desmontaje, ahorra tiempo y facilita el trabajo del operario que manipula la máquina.

3.1.3 Sistema de freno. Es un sistema acoplado al eje de la bobina, el cual se encarga de controlar el desembobinado que se genera por el movimiento del sistema. Este sistema es muy importante ya que, al ir consumiendo la bobina, el frenado varía y puede generar un esfuerzo del motor innecesario, además puede influir en la medida.

Para esta sección se analizar 3 tipos de frenos y así mismo se analizarán ciertos criterios que permitirán que el sistema funcione de mejor manera.

3.2.3.1 Freno de cinta. también llamado freno de banda, compuesto por un resorte y una correa o cinta. Según E. J. Domínguez y J. Ferrer²⁵ este tipo de freno evita o impide la rotación de un cuerpo por medio de la fricción, su funcionamiento consiste en que el accionamiento del freno genera una tensión, la cual es transmitida a una banda que rodea el cuerpo cilíndrico (eje).

Criterios.

- Eficacia. Es la alternativa más sencilla y es muy eficaz para maquinaria, pero no permite que el sistema sea continuo debido a que a medida que la bobina se hace más pequeña, hay que hacer un paro para disminuir la tensión.
- Autonomía. No posee autonomía, es un sistema totalmente manual.
- Costos. Es un sistema muy económico.
- Mantenimiento. Mantenimiento correctivo de la cinta y el resorte cuando tenga desgaste

3.2.3.2 Freno mecánico. Freno de plato de fricción.

Criterios.

- Eficacia: es un sistema es muy eficaz, “generan la fuerza de frenado en la superficie de un disco de freno que gira con la rueda”²⁶
- Autonomía: el sistema investigado para maquinaria es un sistema manual, pero también puede ser un sistema automático si se le acoplan varios elementos.
- Costos: es una solución intermedia con respecto al costo y efectividad.
- Mantenimiento: su mantenimiento consiste básicamente en la lubricación y limpieza.

3.2.3.3 Freno electromagnético: el funcionamiento consiste “en dos superficies de fricción, una bobina y unos resortes de carga. Al energizar la bobina se crea un campo magnético que evita que el freno esté accionado, permitiendo que el rotor del motor gire. Cuando la corriente de alimentación de las bobinas cesa, los resortes

²⁵ DOMINGUEZ, José Esteban. *Sistemas de transmisión y frenado. Ciclos formativos. España*. Editex. 2012. 128 p. ISBN ebook: 9788490033708

²⁶ BOSCH, Robert. *Sistemas de freno convencionales y electrónicos. Serie amarilla*. 3ra ed. Alemania. Reverte. 2003. 52p. ISBN 9783934584617

de carga presionan el disco de fricción contra la tapa del motor causando la detención del movimiento”²⁷

Criterios.

- Eficacia: es el sistema más eficaz, permite la constante medición de la tensión.
- Autonomía: totalmente autónomo, por medio de un regulador de tensión.
- Costo: según la empresa Warner electric, su costo es de 1500 US.
- Mantenimiento: “Para garantizar el correcto frenado, debe revisarse que el disco de fricción no esté impregnado de aceite; es conveniente que la bobina no esté a tierra y en caso que no genere campo, chequear si hay continuidad en el devanado; Revisar con periodicidad las superficies de fricción, y si están muy rayadas, es necesario rectificar la cara del disco de armadura”²⁸

A continuación, se hará el análisis y selección de la alternativa más viable para la fabricación de la máquina.

²⁷ industrias Ramfé. frenos electromagneticos ramfe. frenos electromagneticos de disco. [Sitio web]. Bogotá D.C., Ramfé. 2019 [Consultado: 20 de julio de 2019] Disponible en: <http://www.ramfe.com.co/archivos/187.pdf>

²⁸ industrias Ramfé. frenos electromagneticos ramfe. frenos electromagneticos de disco. [Sitio web]. Bogotá D.C., Ramfé. 2019 [Consultado el 20 de julio de 2019] Disponible en: <http://www.ramfe.com.co/archivos/187.pdf>

Tabla 16. Tabla multicriterio QFD, en el sistema de freno.

Sistema de frenado																		
	Mantener la tension constante.	Permitir un rapido arranque y paradas de emergencia.	Realizar mediciones en milisegundos de la tension.	Permita las RPM y el torque de la bobina.	Bajo costo de mantenimiento	Repuesto con facilidad de conseguir,	Bajo costo de inversion inicial.	importancia para el usuario	actualmente no hay freno	Freno manual	freno mecanico	freno electromagnetico	objetivo (1 a 5) mucho = es importante	ratio de mejora = (7)/(3)	argumento de venta (1, 1'2 , 1'5)	pondreacion absoluta = (1)*(8)*(9)	pond relativa (%)	orden de importancia
Permitir un debobinado controlado	9	3	9	3	0	0	0	5	1	3	4	5	5	5	2	37,5	40,98	1
sistema autonomo	3	9	9	3	0	0	0	4	1	1	3	5	4	4	2	24	26,23	2
Facilidad en el mantenimiento	0	0	0	0	9	9	0	3	1	5	4	3	3	3	1	10,8	11,80	4
Bajo costo de fabricacion	0	0	0	0	0	0	9	4	1	5	5	2	4	4	1	19,2	20,98	3
x																91,50	100	
Orientacion deseada	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑											
Ponderación abs	##	359,02	604,92	201,64	106	106	189		2014,426									
Ponderación rel	22	17,822	30,029	10,01	5,27	5,27	9,38		100									
Orden de importancia	2	3	1	4	6	7	5											
Valoracion tecnica	si/no	si/no	si/no	si/no	si/no	si/no	si/no											
actualmente no hay	0	0	0	0	0	0	0											
freno manual	0	1	0	1	1	1	1											
freno mecanico	1	1	0	1	1	1	1											
freno electromagnetico.	1	1	1	1	0	0	0											
Objetivo tecnico	1	1	1	1	1	1	1											

Fuente: elaboración propia. Basado en el método QFD.

Según el método multicriterio de la QFD, el freno electromagnético es el sistema más apropiado principalmente ya que es el único método que realiza mediciones constantes sobre la tensión y la corrige al momento de existir variaciones, además de la anterior es un sistema autónomo. El método nos expone la importancia de la autonomía del sistema, criterio cumplido principalmente por freno electromagnético, así mismo, es un sistema moderno lo que genera altos gastos de inversión inicial, pero su mantenimiento es escaso debido a que es un sistema firmemente sellado.

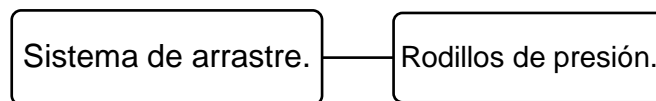
3.3 PLANTEAMIENTO Y SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS DEL SISTEMA DE ARRASTRE Y CORTE

El sistema de arrastre y corte en conjunto conforman los sistemas más importantes de la máquina para la solución de la problemática, ya que al ser automático realizara un corte adecuado y acabara con problemas como la baja productividad, calidad indeseada, debido a que actualmente no se tiene un producto totalmente estandarizado, además, disminuirá el desgaste físico excesivo de los empleados

que genera el uso de maquinaria manual. A continuación, se seleccionará el sistema de arrastre.

3.3.1 Sistema de arrastre. Es el encargado de alimentar al sistema de corte con la lámina, el sistema seleccionado para esto consiste en los rodillos de alimentación, se utilizarán dos rollos recubiertos de caucho, conectados al sistema de potencia quien generara el movimiento. Estos rodillos permitirán la alimentación de doble hoja sin deslizamiento de las láminas, asimismo es un sistema que no maltrata la hoja.

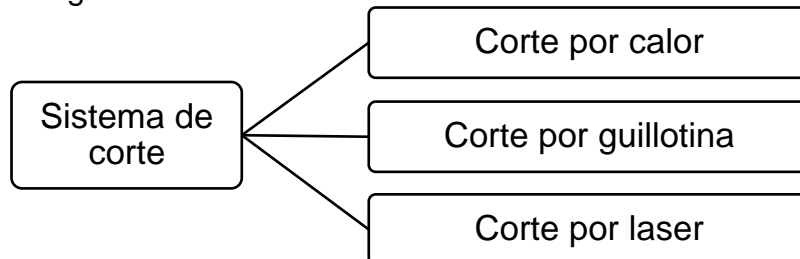
Diagrama 5. sistema de arrastre.



Fuente: elaboración propia.

3.3.2 Sistema de corte.

Diagrama 6. Sistema de corte.



Fuente: elaboración propia.

3.3.2.1 Corte por calor. es aquel que, por medio del calor, sueldan y cortan a la vez dos láminas de un solo material, son más comúnmente denominadas máquinas de termosellado en esta ocasión se considerara el termosellado tipo alambre caliente. A continuación, se analizarán los criterios seleccionados para este sistema de corte.

Criterios.

- Corte de doble hoja y calidad: es un mecanismo diseñado para el corte de una o varias laminas a pesar de esto; el corte viene acompañado de un soldado de las hojas al momento del corte, lo cual estropea el producto. Además, el producto al tener una hoja de papel periódico hace que este método sea obsoleto ya quema dichas hojas.

- Velocidad: según la importadora y comercializadora CHRT S.A.S²⁹ existen termo selladoras las cuales pueden hacer hasta 150 ciclos por minuto, dependiendo de las características de la máquina y del producto (dimensiones).
- Corte en masa: ideal para el corte en masa
- Calibre: según la empresa Hong Yueng Machinery Co Ltda.³⁰ estas máquinas cortan calibres entre 0.008 mm a 0.15 mm las especificaciones varían dependiendo de la máquina.
- Consumo de energía. Posee dos tipos de consumos, consumo térmico y eléctrico.
- Puede cortar todos los materiales (PP, PET, PVC): puede cortar y/o unir todos los materiales termoplásticos.
- Mantenimiento: constantes revisiones a la plancha de corte, y mantenimiento elemental como lubricación y limpieza
- Costo: dependiendo de las características y las cualidades de la máquina puede variar su precio, a pesar de esto si precio es tan elevado comparado con otros sistemas.

3.3.2.2 Corte por guillotina.

Criterios.

- Doble hoja con calidad: cortes simples y de múltiples hojas, puede cortar además varias hojas sin maltratar las láminas.
- Velocidad: depende de la capacidad de la máquina, algunas alcanzan 42 hojas por minuto.
- Corte en masa: Ideales para el corte en masa.
- Calibre: Por lo general puede cortar hasta 20 mm, pero también depende del sistema si es neumático hidráulico o mecánico y la cuchilla.

²⁹ IMPORTADORA Y COMERCIALIZADORA CHRT S.A.S. catálogo de Hong Yueng machinery co ltda. *Fully- automatic plastic bag making machinery*. Hymac . Taiwan. S.f.

³⁰ IBÍD

- Consumo de energía: Su consumo de energía es el más bajo entre los sistemas puesto que solo requiere energía eléctrica.
- Puede cortar todos los materiales (PP, PET, PVC): Apropiado para papel, hojas de madera, plástico, e incluso hojas delgadas de metal.
- Mantenimiento: Posee un sistema más sencillo que las otras alternativas, por lo que su mantenimiento principal se basa en la limpieza lubricación y revisión del sistema que se use (mecánico, neumático, hidráulico).
- Costo: Es el sistema más económico, a pesar de eso su precio en comparación con el sistema de corte por calor no varía en gran proporción.

3.3.2.3 Corte por laser

Criterios.

- Doble hoja con calidad: Son máquinas diseñadas para el corte de piezas con complejidad, precisión y calidad, existen módulos industriales los cuales realizan el corte en masa. Según Eurolaser³¹ estos pueden cortar varias capas o laminas simultáneamente, con la condición de que los bordes cortados se sellan.
- Velocidad: Posee una velocidad de corte muy alta
- Corte en masa: Existen máquinas especializadas para el corte en masa.
- Calibre: El sistema laser de CO2 puede cortar hasta 20 mm de espesor.
- Consumo de energía: Su energía depende principalmente del elemento a cortar, debido a que este elemento definirá la energía requerida para su aplicación.
- Puede cortar todos los materiales (PP, PET, PVC): Los láseres investigados en el capítulo 1, son especializados para plástico, pueden cortar policarbonato, poliéster, poliuretano, poliamida, polietileno polipropilenos, policloruro de vinilo y tereftalato de polietileno. Para el PVC y PET, se debe tener una configuración especial en la máquina.
- Mantenimiento. No hay desgaste de la herramienta, pero posee partes como enfriadores que necesitan mantenimiento.

³¹ Eurolaser. Máquinas láser de alto rendimiento. [Sitio web]. España. Eurolaser. 2019 [consultado el: 31 de julio de 2019] disponible en: www.eurolaser.com/es/

- Costo: Es el sistema de corte más costoso entre los analizados. Comparando tarifas en diferentes empresas.

Tabla 17. Tabla multicriterio QFD, en el sistema de corte.

Sistema de corte.																				
	Conocer los calibres máximos que puede cortar cada sistema	conocer las características de cada maquina.	conocer las propiedades de los materiales (resistencia al corte)	velocidad de corte de 51 ciclos/min o mas	autonomo	No utiliza mas de una fuente de energia (eléctrica, térmica)	Bajo costo de mantenimiento	Repuesto con facilidad de conseguir,	Bajo costo de inversión inicial.	importancia para el usuario										
	sistema de corte actual	corte por calor	corte por guillotina	corte laser	objetivo (1 a 5) mucho = es importante	ratio de mejora	argumento de venta (1, 1'2, 1'5)	ponderacion absoluta	pond relativa (%)	orden de importancia										
Permitir el corte de varias laminas a la vez.	9	3	3	0	0	0	0	0	0	5	1	3	5	4	5	5	1,5	37,5	32,33	1
Permitir el corte de varios calibres con calidad.	9	9	2	0	0	0	0	0	0	4	3	3	5	5	4	1,3	1,2	6,4	5,52	5
Permitir el corte de las diferentes materias primas (PET, PVC, PP)	1	1	9	0	0	1	0	0	0	4	5	5	5	5	4	0,8	1	3,2	2,76	7
Permita elevadas velocidades de trabajo	0	9	0	9	3	0	0	0	0	5	1	5	4	5	4	4	1,5	30	25,87	2
Sistema diseñado para el corte en masa	0	3	1	1	9	0	0	0	0	5	1	5	5	3	4	4	1,2	24	20,69	3
Bajo consumo de energia.	0	3	0	0	0	9	0	0	0	3	5	3	5	3	4	0,8	1,2	2,88	2,48	8
Facilidad de mantenimiento.	0	0	0	0	0	0	9	9	0	4	2	3	4	4	3	1,5	1,2	7,2	6,21	4
Bajo costo de fabricacion.	0	0	0	0	0	0	0	0	9	4	5	3	4	3	4	0,8	1,5	4,8	4,14	6
x																				
Orientacion deseada	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↓									115,98	100	
Ponderación abs	343	452	153,6	253,5	264	25,11	58	55,87	37		1640,162097									
Ponderación rel	20,9	27,5	9,363	15,46	16	1,531	3,4	3,406	2,3		100									
Orden de importancia	2	1	5	4	3	9	7	6	8											
Valoracion tecnica	si/no	si/no	si/no	si/no	si/no	si/no	si/no	si/no	si/no											
sistema actual	1	1	1	0	0	1	1	0	1											
corte por calor	1	1	1	1	1	0	1	1	1											
corte por guillotina	1	1	1	1	1	1	1	1	1											
corte por laser	1	1	1	1	1	0	0	0	0											
Objetivo tecnico	1	1	1	1	1	1	1	1	1											

Fuente: elaboración propia. Basado en el método QFD.

Según el método QFD, el factor más importante para el corte corresponde a las altas velocidades, junto al factor de cortar varias laminas al tiempo sin realizar un soldado entre estas. Ante estos criterios, el corte por guillotina es el único sistema que garantiza el corte de láminas con papel, sin afectar su calidad, debido a que las temperaturas del corte laser y/o calor podría quemar el papel.

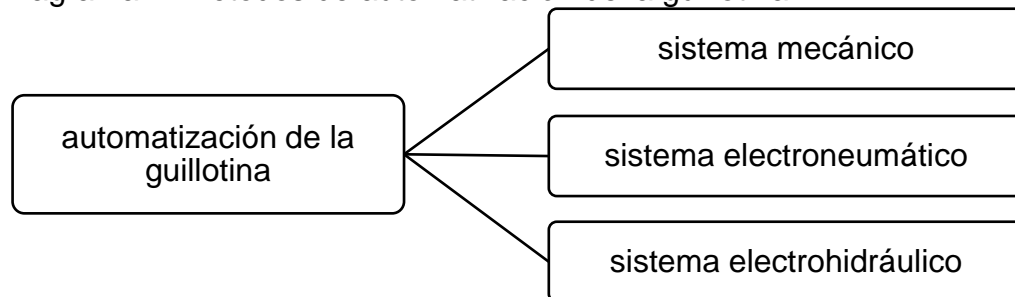
En este caso se considera que la guillotina en formato de palanca (es decir, que el recorrido de la cuchilla sea vertical) es más apropiada que la de rodaja o rodillo (recorrido horizontal), debido a que según Guillotina-papel³², aunque la guillotina de rodaja ofrece mayor seguridad, la altura de corte es menor que en la guillotina de recorrido vertical, adicionalmente los borde o esquinas pueden tener problemas, puede desviarse de su recorrido y no generar un corte limpio y recto al trabajar. El sistema de guillotina de palanca puede cortar gran variedad de materiales, es preciso y realiza un corte limpio y recto

³² Guillotina-papel.es. [Sitio web]. 2019. España. [Consultado el: 25 de septiembre de 2019] Disponible en: <https://www.guillotina-papel.es/informaciones-consejos/comparador-guillotin-de-palanca-y-cizallas-de-rodillo/>

El corte por guillotina se puede automatizar por lo que no es necesario tener la intervención de un operario para esta función, y disminuirá el riesgo de sufrir enfermedades y/o lesiones laborales. Para la automatización de esto, se puede encontrar 3 formas las cuales consisten en: electroneumática, electrohidráulica y mecánica.

3.3.3 Tipos de automatización de la guillotina

Diagrama 7. Métodos de automatización de la guillotina



Fuente: elaboración propia.

3.3.3.1 Mecánico

Criterios.

- Fuerza: posee una fuerza elevada.
- Velocidad: se puede programar una alta velocidad, dependiendo de su motor y su relación de transmisión.
- Costo: es un sistema económico
- Mantenimiento: su mantenimiento es económico.

3.3.3.2 Electroneumático.

Criterios.

- Fuerza: según A. Creus³³ puede desarrollar a presiones bajas un bajo par o fuerza escasa si se usa un aproximado de 6 bares.

³³ CREUS SOLE, Antonio. Neumática e hidráulica. 2da ed. Barcelona. marcombo. 2012. 7p. ISBN 9788426718617

- Velocidad: según J. Cembranos³⁴ posee una alta velocidad, la cual, es difícil mantener gracias a la compresibilidad del aire.
- Costo: según A. Creus “una de sus principales ventajas es el bajo costo de sus componentes, su facilidad de diseño e implementación”
- Mantenimiento: el Mantenimiento es fácil, se tiene que tener cuidado con los escapes ya que podría afectar la velocidad. Según S. Millán³⁵ se producen averías poco frecuentes debido a que trabaja con bajas presiones.

3.3.3.3 Electrohidráulico.

Criterios.

- Fuerza: “son diseñados para sistemas donde sea primordial el trabajo y no la velocidad”³⁶
- Velocidad: Es un sistema que posee menor velocidad que el sistema neumático.
- Costo: es más costo que el sistema electroneumático
- Mantenimiento: hay que tener más cuidado con el sistema debido a que en caso de utilizar aceite como fluido podría existir riesgo de incendio. Además, cualquier avería puede causar derrames.

³⁴ CEMBRANOS NISTRAL, Jesús. Automatismos electricos neumáticos e hidráulicos. 5 ed. Mexico. Paraninfo. 2008. 2 p. ISBN 9788497326582

³⁵ MILLAN, Salvador. *Automatización neumática y electroneumática*. Barcelona. Marcombo. 1996. Volumen 1. ISBN 9788426710390

³⁶ CEMBRANOS NISTRAL, Jesús. Automatismos electricos neumáticos e hidráulicos. 5 ed. Mexico. Paraninfo. 2008. 2,3 p. ISBN 9788497326582

Tabla 18. Tabla multicriterio QFD, sistema de automatización de la guillotina

Automatización guillotina.						
	fuerza super el esfuerzo cortante	51 ciclos/min o mas	bajo costo	repuestos faciles de conseguir	bajo costo de mantenimiento	importancia para el usuario (1 a 5)
fuerza	9	0	0	0	0	3
velocidad	0	9	0	0	0	5
costo	0	0	9	0	3	4
mantenimiento	0	0	0	9	9	3
x						
Orientacion deseada	↑	↑	↑	↑	↑	
Ponderación abs	96,57	644	82,4	77,3	105	1004,7
Ponderación rel	9,611	64,1	8,2	7,69	10	100
Orden de importancia	2	5	3	4	1	
Valoracion tecnica	si/no	si/no	si/no	si/no	si/no	
Sistema actual - manual	1	0	1	0	0	
Sistema mecanico	1	1	1	1	1	
Sistema electroneumático	1	1	1	1	1	
Sistema electrohidráulico	1	1	0	1	1	
Objetivo tecnico	1	1	1	1	1	

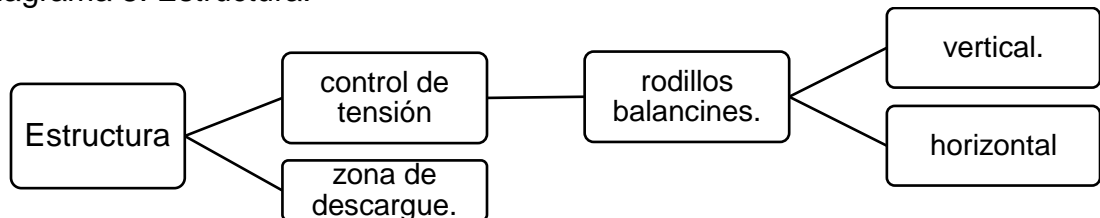
Sistema actual- Manual	mechanico	electroneumático	electrohidraulico	objetivo (1 a 5) mucho = es importante	ratio de mejora = (7)/(3)	argumento de venta (1, 1'2, 1'5)	pondreacion absoluta	pond relativa (%)	orden de importancia
3	4	3	5	3	1	1,5	4,5	10,73	2
1	4	5	3	5	5	1,2	30	71,53	1
5	5	5	3	4	0,8	1,2	3,8	9,16	4
3	5	5	4	3	1	1,2	3,6	8,58	3
							41,94	100	

Fuente: elaboración propia. Basado en el método QFD.

Luego de una evaluación con diferentes criterios, se llegó a la selección de un sistema de arrastre por medio de rodillos de caucho, el cual, permitirá que las láminas no sufran deslizamiento. Así mismo se tomará un sistema de corte por guillotina por medio de accionamiento electroneumático que permitirá tener mayor velocidad lo cual es fundamental para el aumento de productividad

3.4 PLANTEAMIENTO Y SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS DE LA ESTRUCTURA

Diagrama 8. Estructura.



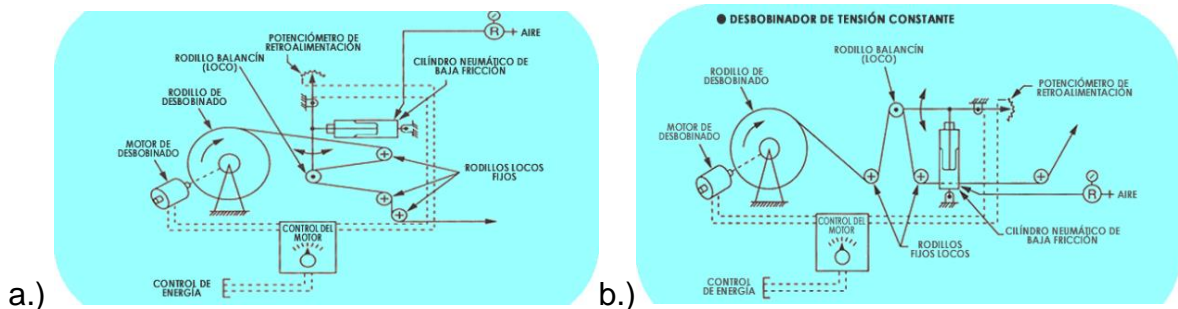
Fuente: elaboración propia.

3.4.1 Control de tensión.

Para el control de la tensión se hará uso de rodillos balancines el cual no permitirá que existan halones

Cuando hay movimiento de películas existe una tensión generada, es por esto que se debe medir y ajustar dicha tensión para evitar daños en la película. Existen principalmente dos formas de realizar la medición, manual y automática. El método automático más usado consiste en rodillos balancín debido a su confiabilidad, donde un brazo permite el movimiento del balancín según sea su configuración y según los valores dados, se enviará una señal al variador de velocidad para que disminuya o aumente la velocidad. Se pueden tener dos tipos de configuraciones en los rodillos: dependiendo de la tensión de trabajo respecto al peso del balancín; vertical (la tensión es mayor al peso del balancín), horizontal (la tensión es menor al peso del balancín) ³⁷

Figura 21. Configuración de los rodillos balancín. vertical y horizontal



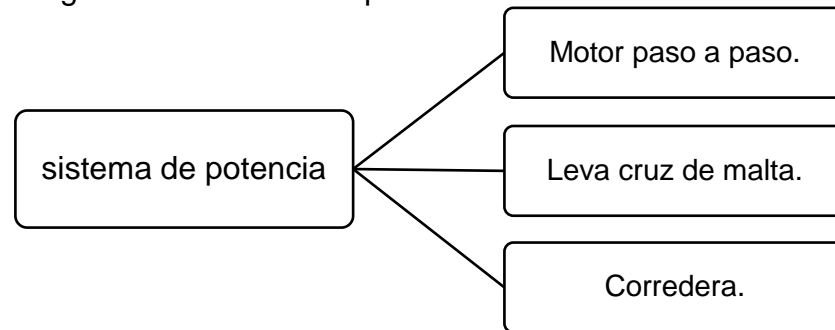
Fuente: Ingeniero mecánico W. Saavedra. Revista el empaque y conversión. Soluciones flexibles. ¿Cómo medir y controlar la tensión de un sustrato en un proceso de conversión de laminados para envases flexibles? [En línea]. 13 de marzo de 2017. [Consultado el 22 de julio de 2019] Disponible en: <http://www.elempaque.com/blogs/Como-medir-y-controlar-la-tension-de-un-sustrato-en-un-proceso-de-conversion-de-laminados-para-envases-flexibles+118389>

3.4.2 Zona de descargue. Para esta zona el único requerimiento que se exige es que haya un orden de películas, para esto una mesa normal no es apta debido a que la condición propia de los materiales, las láminas largas no se deslizan apropiadamente por lo que se doblarían, es por lo anterior que se establece una mesa inclinada que evitara lo anteriormente nombrado, adicionalmente se hará uso de paralelas que permitirán un mayor orden.

³⁷ SAAVEDRA, Wilmer. Revista el empaque y conversión. Soluciones flexibles. ¿Cómo medir y controlar la tensión de un sustrato en un proceso de conversión de laminados para envases flexibles? [En línea]. 13 de marzo de 2017. [Consultado el 22 de julio de 2019] Disponible en: <http://www.elempaque.com/blogs/Como-medir-y-controlar-la-tension-de-un-sustrato-en-un-proceso-de-conversion-de-laminados-para-envases-flexibles+118389>

3.5 PLANTEAMIENTO Y SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS DEL SISTEMA DE POTENCIA Y CONTROL

Diagrama 9. Sistema de potencia



Fuente: elaboración propia.

3.5.1 Sistema de potencia. Se necesita un sistema que pueda generar un movimiento cíclico.

3.5.1.1 Motor paso a paso: son también denominados motores de pasos, “diseñados para girar un determinado ángulo en función de las señales eléctricas que se les apliquen en sus terminales de control, no necesita sensores de posición, ni control por retroalimentación; lo que simplifica la instalación. como característica principal giran de manera incremental, por lo tanto, cada paso representa un desplazamiento angular fijo del eje del motor”³⁸

Criterios.

- Movimiento cíclico con variación de medidas: diseñado para movimientos cíclicos y apropiados para la variación de medidas, al configurar la tarjeta de control.
- Mantenimiento: lubricación y limpieza.
- Costo: Su costo es elevado, un motor de pasos tiene un precio aproximado de 1'200.00 COP. Incluyendo su tarjeta de control.

³⁸ CONTI, Francisco. Motores paso a paso. Buenos Aires. Librería y editorial Alsina. 2005. ISBN 9789505531943.

3.5.1.2 Leva cruz de malta.

Criterios.

- Movimiento cíclico con variación de medidas: diseñado para movimientos cíclicos, pero siempre su ciclo será constante, por lo que no le permite una variación de medidas, es decir al proporcionar movimiento a los rodillos de alimentación, estos siempre darán la misma longitud.
- Mantenimiento: lubricación y limpieza.
- Costo: el costo incluye las levas y el motor que dará movimiento, el cual es necesario ya que este mecanismo convierte el movimiento giratorio constante en un movimiento giratorio intermitente.

3.5.1.3 Corredera.

Criterios.

- Movimiento cíclico con variación de medidas: diseñado para movimientos cíclicos, mediante el pivote se puede cuadrar la medida de los ciclos. Así mismo el mecanismo puede no ser totalmente automático y necesitar de un operario que este controlando la medida.
- Mantenimiento: lubricación y limpieza.
- Costo: su costo incluye un motor y junto la tarjeta driver que pertenece al sistema de control.

Tabla 19. Tabla multicriterio QFD, en el sistema de potencia.

Sistema de potencia.																
	Sistema de control	Control de frecuencia	Bajo costo	Repuestos sean faciles de conseguir.	Costo en reparacion bajo.	importancia para el usuario	Sistema actual-manual (1 a 5)	Motor paso a paso (1 a 5)	Leva cruz de malta (1 a 5)	Sistema de corredera. (1 a 5)	objetivo (1 a 5) mucho	ratio de mejora = (7)/(3)	argumento de venta (1, 1'2 , 1'5)	pondreacion absoluta	pond relativa (%)	orden de importancia
Sistema que permita la variación de las medidas	9	9	0	0	0	5	1	5	3	4	5	5	2	37,5	34,03	1
Sistema que permita variación de velocidad	9	9	0	0	0	5	1	5	5	5	5	5	2	37,5	34,03	2
Economía	0	0	9	0	0	4	1	3	4	4	4	4	1	19,2	17,42	4
Mantenimeinto	0	0	0	9	9	4	1	5	4	4	4	4	1	16	14,52	3
x														110,20	100	
Orientacion deseada	↑	↑	↑	↑	↑											
Ponderación abs	613	613	157	131	131		1643,194									
Ponderación rel	37	37	9,5	8	8		100									
Orden de importancia	1	2	3	4	5											
Valoracion tecnica	si/nc	si/nc	si/nc	si/nc	si/no											
Sistema actual- manual	0	0	0	0	0											
Motor paso a paso	1	1	0	1	1											
Leva cruz de malta	1	1	1	0	1											
Sistema de corredera	1	1	0	1	1											
Objetivo tecnico	1	1	1	1	1											

Fuente: elaboración propia. Basado en el método QFD.

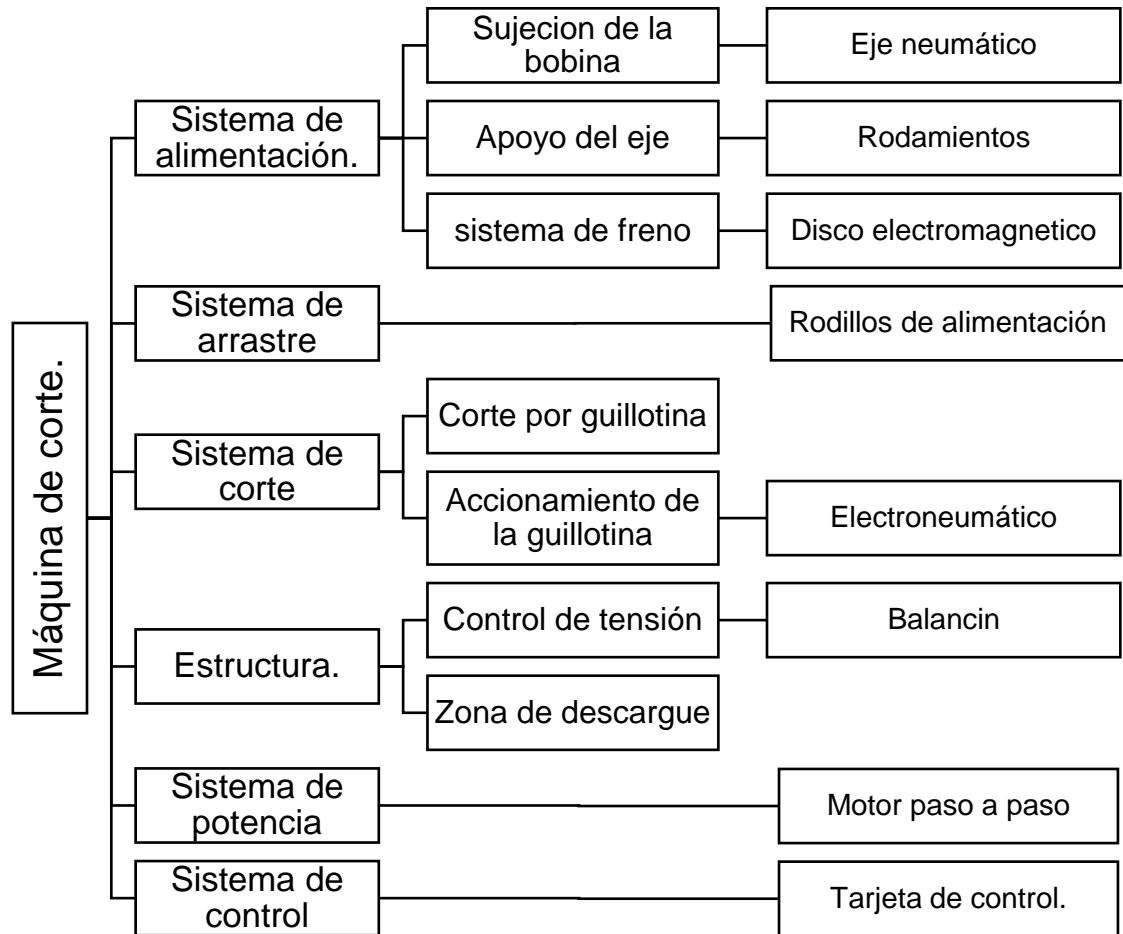
La evaluación por el método QFD, establece la importancia de la variación de las medidas, ya que, en la empresa se ofrecen laminas con longitud entre 50 cm y 80 cm. El motor paso a paso mediante la variación del ángulo de giro y en conjunto la tarjeta driver, permite el manejo de las dimensiones al estar acoplado directamente con el sistema de dosificación mediante el empleo de una correa.

3.5.2 Sistema de control. Los motores paso a paso constan de una tarjeta driver, con la cual se puede programar la velocidad, y el ángulo. Este sistema posee gran importancia al ser el sistema encargado de dar la longitud de las láminas a cortar, este sistema dará precisión dependiendo del ángulo mínimo de avance que posea y se programe.

3.6 DESCRIPCIÓN DE LA MAQUINARÍA SELECCIONADA.

A lo largo del capítulo se han observado los sistemas y subsistemas de la máquina, en los cuales se han planteado diferentes alternativas de solución y se han escogido con el fin de cumplir con parámetros exigidos por la empresa. A continuación, se presenta un diagrama donde se establecen las alternativas escogidas en cada subsistema.

Diagrama 10. Resumen de las alternativas seleccionadas.



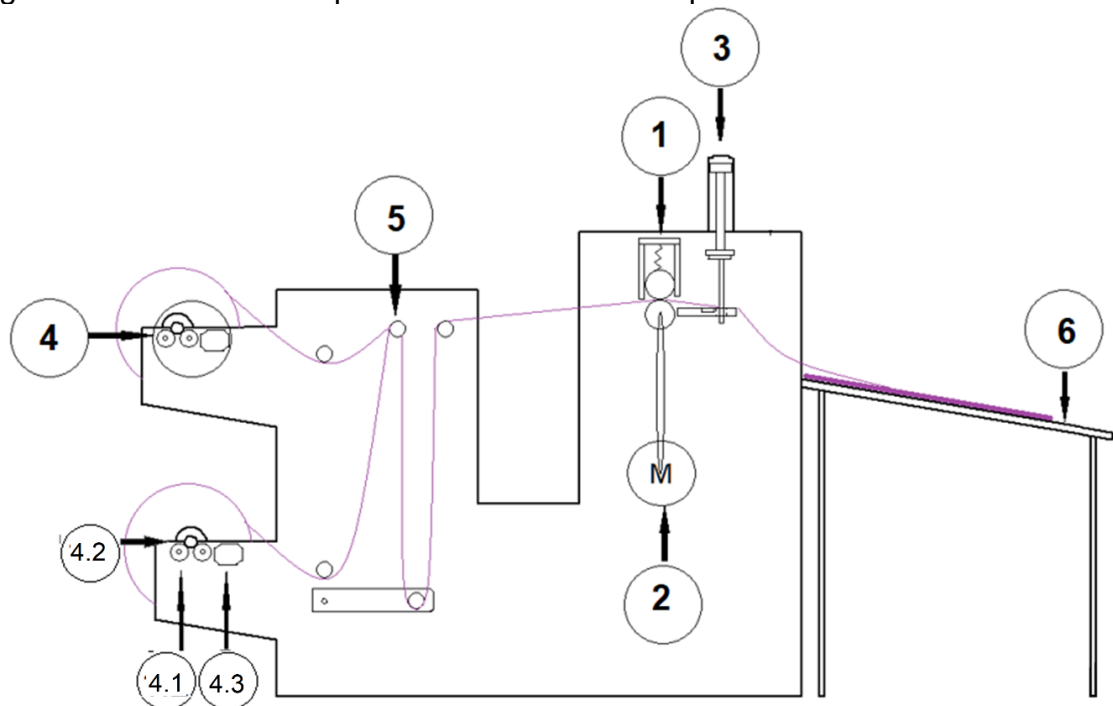
Fuente: elaboración propia.

4. DISEÑO DETALLADO.

Una vez seleccionadas las alternativas de diseño en los diferentes sistemas y subsistemas, se ha llegado al punto en el cual se reunirán los conocimientos teóricos junto con apoyo técnico y/o recomendaciones de empresas, fabricantes para la selección y cálculo de partes.

Se realiza el diseño general de la máquina, donde se tiene un sistema de alimentación compuesto por un eje neumático expansible, un apoyo mediante rodamientos, y un freno electromagnético. A continuación, se hace un control de tensión por rodillos balancín, encaminado a los rodillos de presión o alimentación; es allí donde el motor paso a paso realiza un avance respecto a un ángulo programado con la tarjeta driver, con el cual se realiza el avance de la lámina; una vez realizado el avance se realiza el corte con la guillotina electroneumática.

Figura 22. Diseño de máquina de corte con los respectivos sistemas.



- | | | | |
|------|--|------|---------------------------|
| 1. | Rodillos de presión, | 2. | Motor paso a paso, |
| 3. | Guillotina con sistema Electroneumático, | 4. | Sistema de alimentación, |
| 4.1. | Eje neumático expansible, | 4.1. | Eje neumático expansible, |
| 4.2. | Apoyo de rodamientos, | 4.3. | Freno electromagnético, |
| 5. | Balancín de tensión, | 6. | Zona de descarga. |

Fuente: elaboración propia.

Sistemas y Subsistemas de la máquina. Se presentará el diseño detallado de los sistemas que cumplirán con los requerimientos de la empresa, asimismo, en algunas ocasiones se tomarán situaciones críticas para obtener el diseño satisfactorio. A continuación, se comenzará con el diseño detallado del sistema de dosificación, luego el de potencia, corte y el sistema de alimentación, para así finalizar con la estructura.

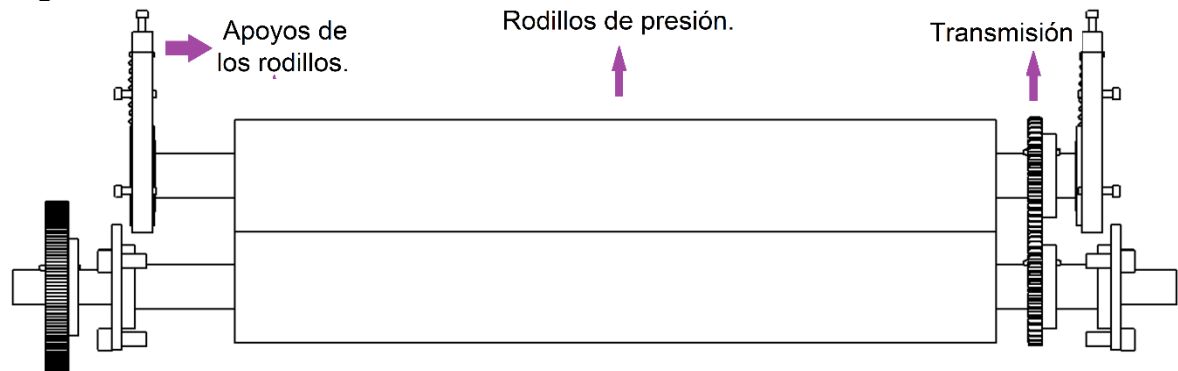
Antes de iniciar se definirán algunos parámetros generales:

- Ancho entre placas de soporte o bastidor es de 70 cm.
- Ancho de trabajo es de 55 cm

4.1 Sistema de dosificación.

Este sistema es el encargado de dar el avance previo al corte de las láminas, para cumplir con esta necesidad se requieren rodillos de alimentación o también llamados rodillos de presión. Este sistema nos ayudara a solucionar los problemas de calidad, con la precisión deseada.

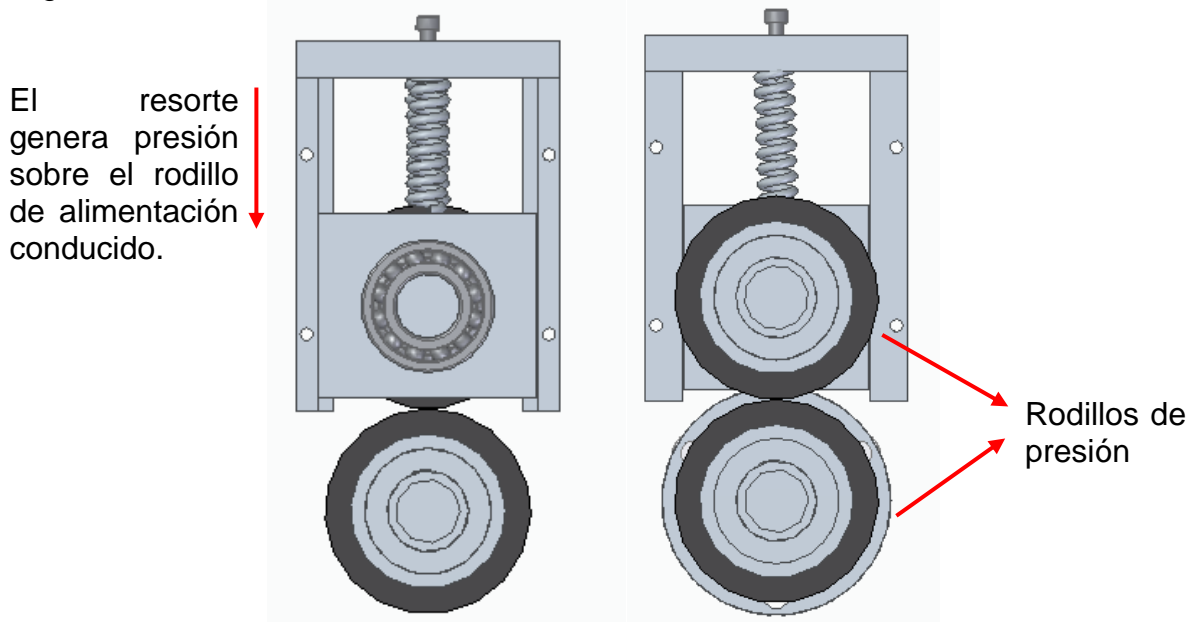
Figura 23. Sistema de dosificación.



Fuente: elaboración propia.

4.1.1 Rodillos de alimentación o presión. consistirá en dos rodillos, uno motriz y uno conducido, donde el rodillo conducido debe ejercer presión sobre el rodillo motriz.

Figura 24. Rodillos de presión.



Fuente: elaboración propia.

4.1.1.1 Fabricación y selección. Para obtener estos rodillos hay dos formas de fabricarlos:

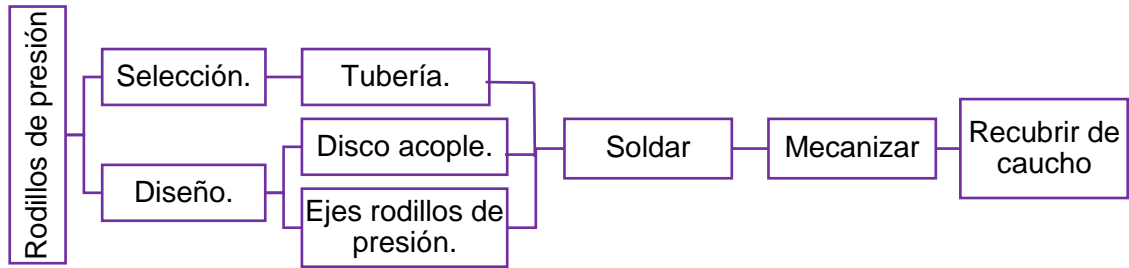
1. Consiste en un eje macizo, el cual, será mecanizado hasta obtener las dimensiones deseadas, posteriormente se debe recubrir de caucho. Este sistema no es recomendado por factores como el costo, el peso que este pueda tener, la inercia que adquiere al momento de su accionamiento, lo cual le impide precisión al sistema. Su fabricación es más laboriosa y requiere más horas de trabajo en el torno.

2. Ensamble. Consiste en un tubo de acero al carbón sin costura, posteriormente se debe recubrir de caucho. Este sistema es más apropiado para la precisión que se requiere en las dimensiones de las láminas, además que el peso es menor.

Según lo anterior el método más apropiado consiste en el ensamble.

Método de Ensamble. Para la fabricación de estos rodillos se debe hacer por medio de tubos y ejes mecanizados, respecto a los rodillos es recomendable el manejo de diámetros entre 7 cm y 10 cm, dependiendo del criterio del diseñador, en el cual se tuvo en cuenta el peso (ya que, a mayor tamaño, mayor peso e inercia), costo, y espacio a ocupar, con lo anterior, se seleccionó un diámetro de 8 cm.

Diagrama 11. Proceso de fabricación y ensamble de los rodillos de presión.



Fuente: elaboración propia.

- Selección. Inicialmente se seleccionó un tubo de acero al carbón sin costura debido a que al realizar mecanizados externos se pueden retirar la soldadura lo cual puede generar el agrietamiento del tubo. Para la selección del tubo se recurrió a la empresa Surtiniples Ltda.

Características del tubo

- Diámetro nominal 2 in
- SCH 80
- Longitud: 550 mm

Figura 25. Catalogo y selección de tubería de acero.

DIMENSIONES DE TUBERÍAS								
DIÁMETRO NOMINAL	DIÁMETRO EXTERIOR (mm)	SCH 40				SCH 80 C.S.		
		ESPESOR PARED (mm)	DIÁMETRO INTERIOR (mm)	PESO APROX. (Kg/m)		ESPESOR PARED (mm)	DIÁMETRO INTERIOR (mm)	PESO APROX. (Kg/m)
				INOXIDABLE	CARBÓN			
2"	60.30	3.91	52.48	5.53	5.43	5.54	49.22	7.47

Fuente: ferretería supertiniples Ltda. [Sitio web]. Bogotá D.C., 2019. [consultado el: 7 de septiembre de 2019]. Disponible en: <https://surtiniples.com/dimensiones-de-tuberias/>.

- Diseño.

Disco de acople. Son discos ubicados en cada extremo del rodillo, fabricados con AISI 1020; soldados al tubo de acero al carbono, a su vez este estará soldado a dos ejes fabricadas en AISI 1020. Estos discos tienen las siguientes dimensiones:

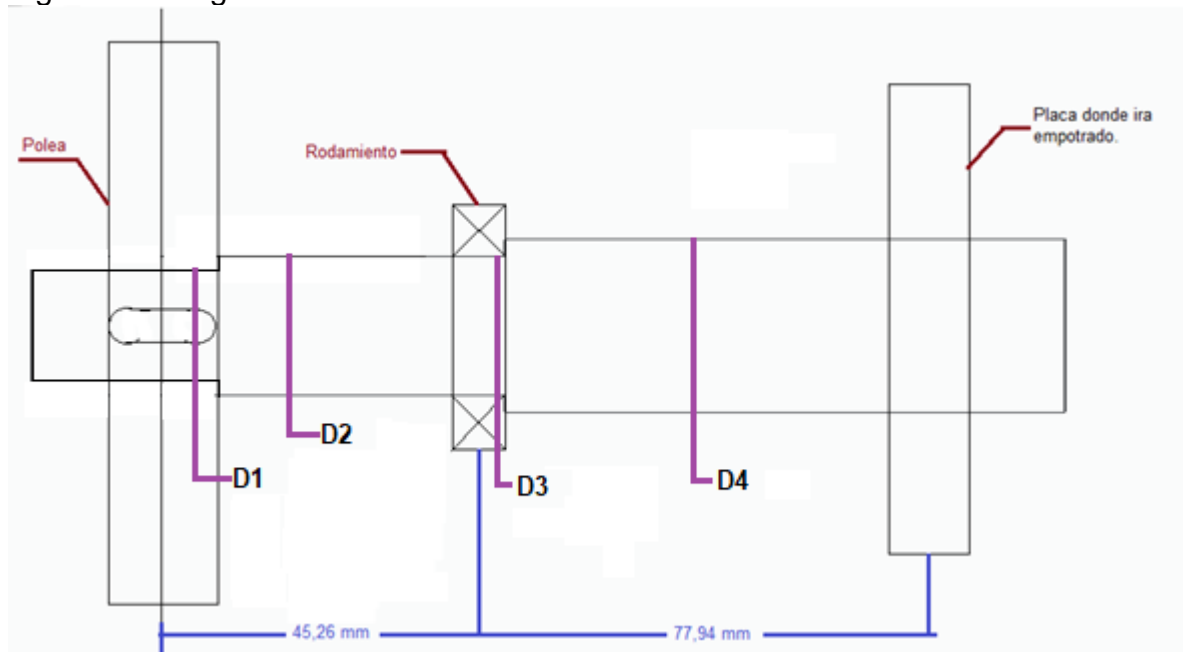
- Espesor de 10 mm
- Diámetro interior: 31,75 mm

- Diámetro exterior: 49,22 mm

Ejes. Consisten en 4 ejes de diámetro exterior máximo de 1 ¼ in (31,75mm), con un mecanizado de 25 mm en el cual se ubicará un rodamiento. Este mecanizado se llevará a cabo una vez se suelda y/o ensamblado el sistema para evitar descentralizar el sistema.

Diseño del eje.

Figura 26. Diagrama inicial.



Fuente: elaboración propia.

Para iniciar el diseño del eje se debe calcular la resistencia a la fatiga estimada real por medio de la ecuación:

Ecuación 5. Resistencia a la fatiga estimada real.

$$S'_n = S_n(C_m)(C_{st})(C_R)(C_S)$$

Fuente: MOTT R. L. Diseño de elementos de máquinas. México. 1995. 177 p. ISBN 9688805750.

Para hallar estos factores se debe:

Tabla 20. Factores del eje para la resistencia a la fatiga estimada.

Material de la pieza: 1020. (debido a que se usa principalmente para partes de maquinaria que no estén sometidas a grandes esfuerzos mecánicos como ejes.)

Sy= 343 MPa

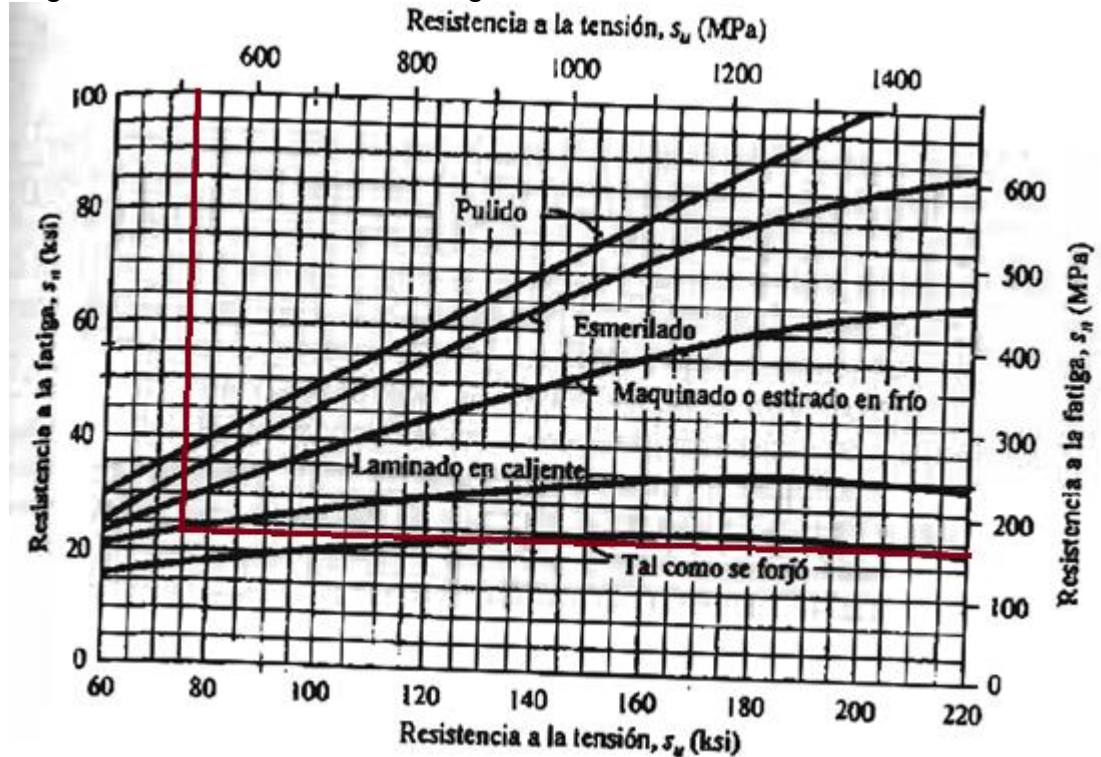
Su= 490 Mpa

Factor	Ecuación	Valor
Sn	Figura 27.	170 MPa
Factor del material → Cm	Acero forjado	Cm = 1
Factor de tipo de esfuerzo.	esfuerzo de flexión.	Cst = 1
Factor de confiabilidad.	Figura 28.	Cr= 0,81
Factor de tamaño. → Cs = si → 0,3 in >D > 2 in	$Cs = \left(\frac{D}{0,85}\right)^{-0,11} = \left(\frac{1,25}{0,85}\right)^{-0,11}$	Cs = 0,8547

Figura 29.

Fuente: elaboración Propia. Basado en: MOTT R. L. Diseño de elementos de máquinas. México. 1995. 174 p. ISBN 9688805750.

Diagrama 12 Resistencia a la fatiga modificada.



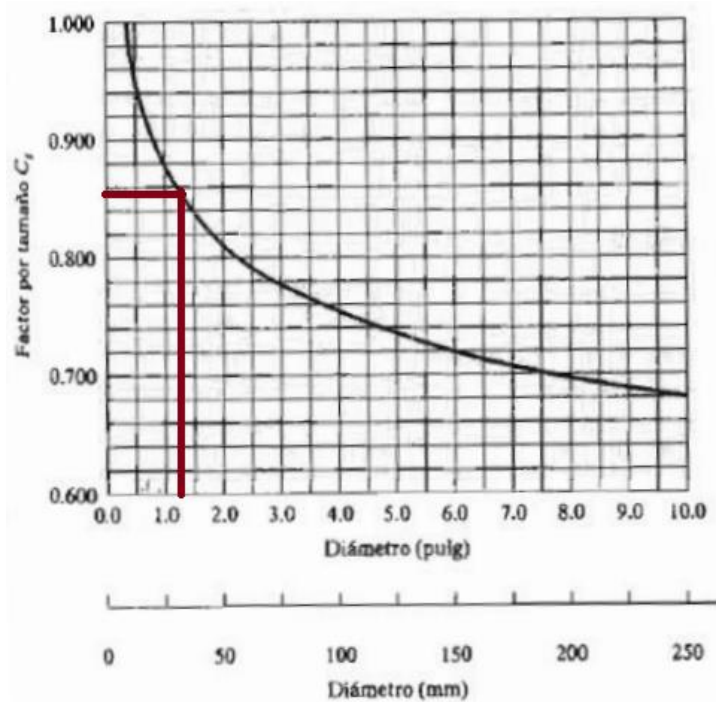
Fuente: MOTT R. L. Diseño de elementos de máquinas. México. 1995. 175 p. ISBN 9688805750.

Tabla 21. Fator de confiabilidad aproximado CR

Confiabilidad deseada	CR
0.5	1.0
0.9	0.9
0.99	0,81
0.999	0,75

Fuente: MOTT R. L. Diseño de elementos de máquinas. México. 1995. 175 p. ISBN 9688805750.

Diagrama 13. Confirmación del método grafico del factor de tamaño.



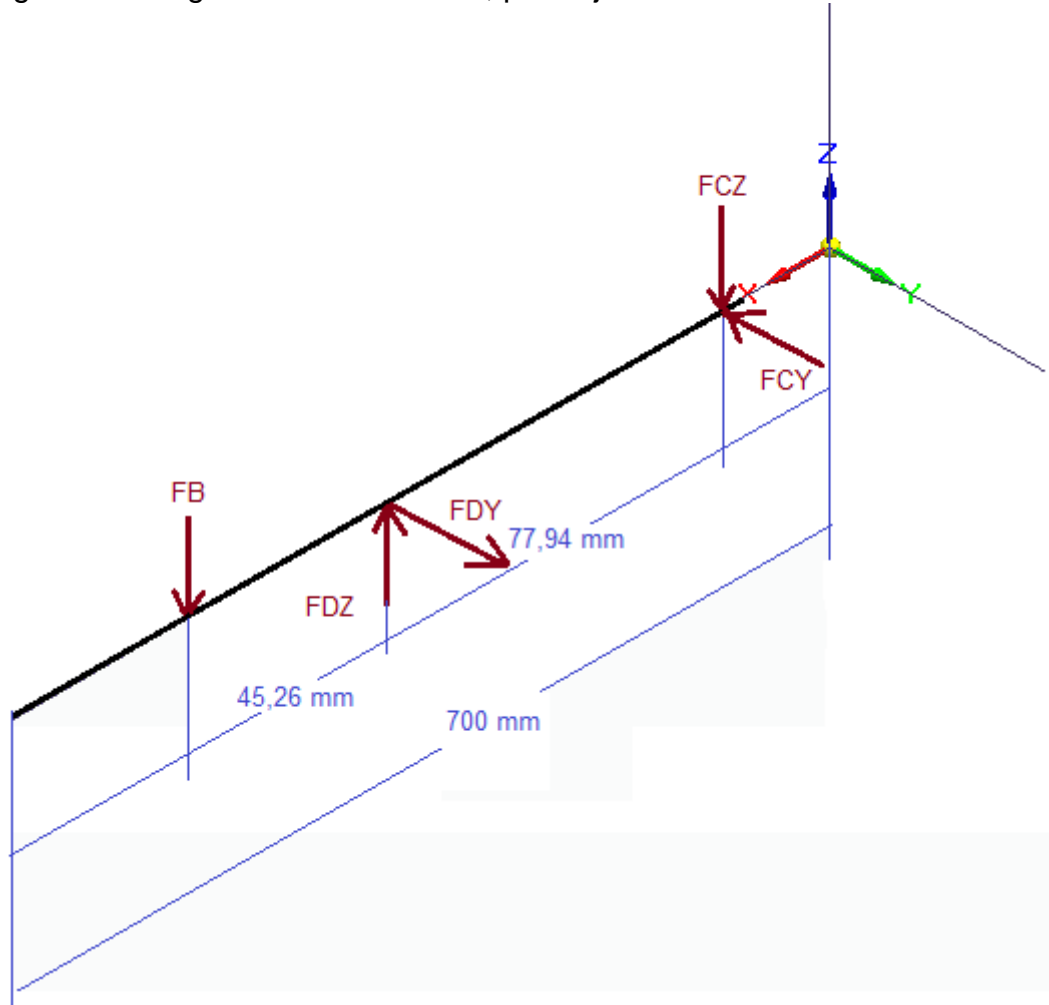
Fuente: MOTT R. L. Diseño de elementos de máquinas. México. 1995. 174 p. ISBN 9688805750.

Resistencia a la fatiga estimada real $S'_n = 365 \text{ MPa} \cdot (1) \cdot (1) \cdot (0,81) \cdot (0,8547)$
 $S'_n = 252,69 \text{ MPa}$

$$\frac{S_y}{S'_n} = \frac{3,43 \times 10^8 \text{ Pa}}{252,69 \times 10^6 \text{ Pa}} = 1,36$$

1,36 veces más sobre el límite,

Figura 27. Diagrama de fuerzas 3D, para eje de dosificación.



Fuente: elaboración propia.

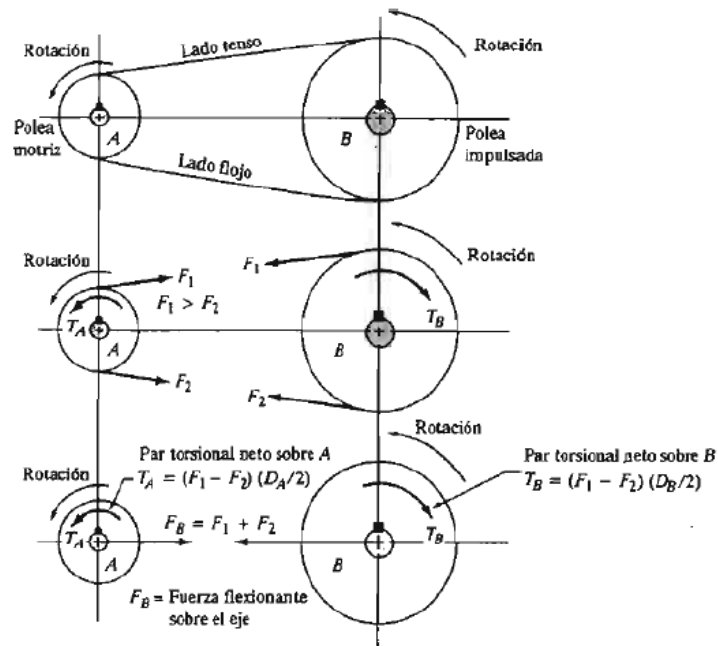
Torque en la polea B= $12,29 \text{ Nm}$ (Sección. 4.2.2.1)

Velocidad angular B= $W_B = 131,70 \text{ RPM} = 13,75 \text{ rad/s}$ (Sección. 4.2.2.2)

Radio de polea= $119,82 \text{ mm}$ (Sección. 4.2.1)

Figura 28. Fuerzas sobre las bandas en V.

Fuerzas sobre las bandas



Fuente: MOTT R. L. Diseño de elementos de máquinas. México. 1995. 174 p. ISBN 9688805750.

Ecuación 6. Fuerza impulsora neta.

$$F_n = F_1 - F_2 = T / r$$

Fuente: MOTT R. L. Diseño de elementos de máquinas. México. 1995. 174 p. ISBN 9688805750.

Fuerza en la polea B = $F_n = 205,20 \text{ N}$

(Sección. 4.2.2.1)

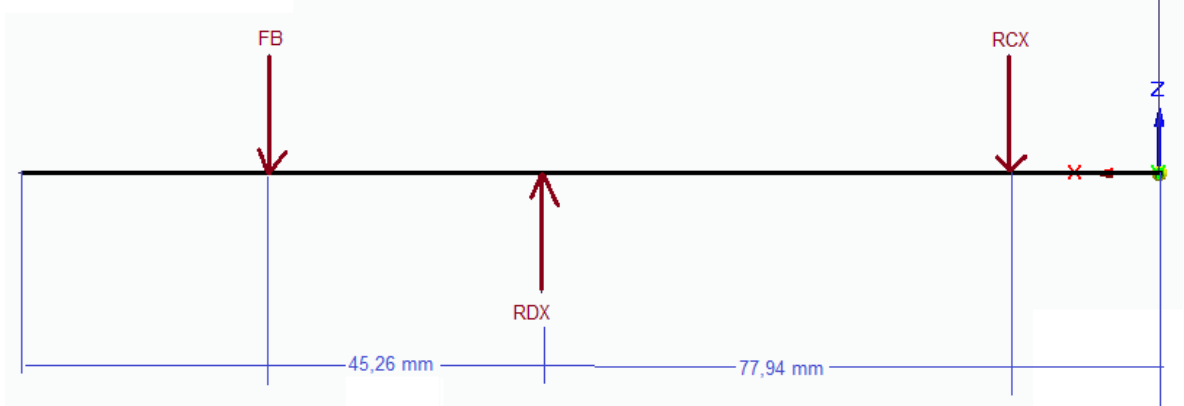
Ecuación 7. Fuerza de flexión sobre el eje.

$$F_B = 1,5 F_n = 205,20 \text{ N} * 1,5 = 307,8 \text{ N}$$

Fuente: MOTT R. L. Diseño de elementos de máquinas. México. 1995. 174 p. ISBN 9688805750.

Plano XZ

Figura 29. Plano XZ.



Fuente: elaboración propia.

Ecuaciones.

$$\sum FZ = 0$$

$$-F_B + R_{DZ} - R_{CZ} = 0 \quad (1)$$

$$\sum Mc = 0$$

$$-R_{DZ} \times 77,94 \text{ mm} + F_B \times 123,2 \text{ mm} = 0 \quad (2)$$

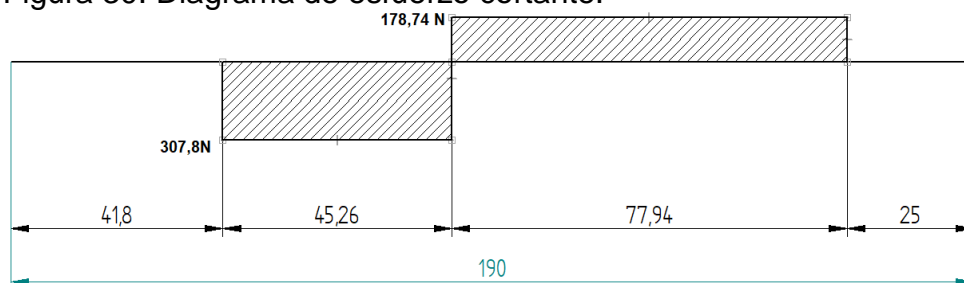
$$-R_{DZ} \times 77,94 \text{ mm} + 307,8 \text{ N} \times 123,2 \text{ mm} = 0$$

$$R_{DZ} = \frac{37920,96 \text{ Nmm}}{77,94 \text{ mm}} = 486,54 \text{ N}$$

$$-307,8 + 486,54 - R_{CZ} = 0$$

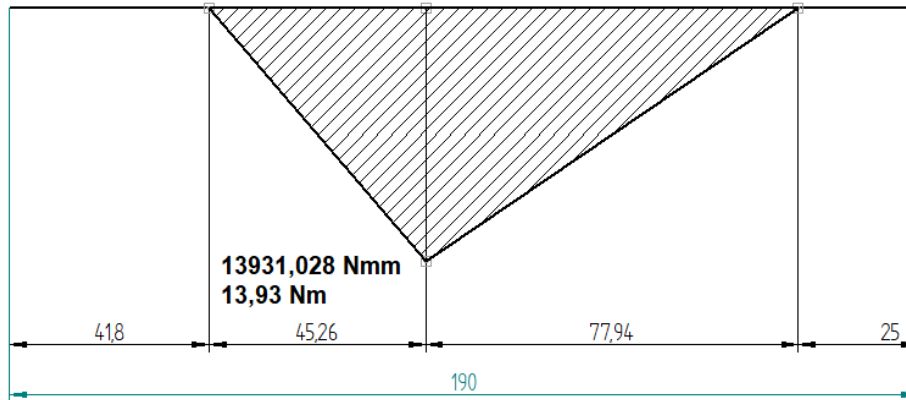
$$R_{CZ} = 178,74 \text{ N}$$

Figura 30. Diagrama de esfuerzo cortante.



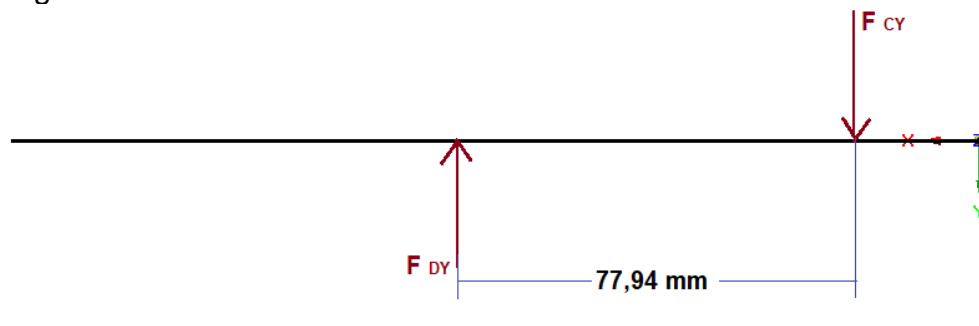
Fuente: elaboración propia.

Figura 31. Diagrama de momento flector



Fuente: elaboración propia.

Figura 32. Plano XY



Fuente: elaboración propia.

Ecuaciones.

$$\sum FZ = 0$$

$$R_{DY} - R_{CY} = 0 \quad (1)$$

$$\sum Mc = 0$$

$$-R_{DY} \times 77,94 \text{ mm} = 0 \quad (2)$$

$$R_{DY} = 0$$

$$R_{CY} = 0$$

Una vez se tienen los diagramas, momentos, torques y fuerzas se procede a hallar el diámetro.

Ecuación 8. Diámetro de eje.

$$D = \left[\frac{32 * N}{\pi} * \sqrt{\left[\frac{Kt * M}{S'n} \right]^2 + \frac{3}{4} \left[\frac{T}{Sy} \right]^2} \right]^{\frac{1}{3}}$$

Fuente: MOTT R. L. Diseño de elementos de máquinas. México. 1995. 177 p. ISBN 9688805750.

N= factor de seguridad=2.

“N= 2 a 2,5. Diseño de elementos de máquinas bajo cargas dinámicas con una confianza promedio en todos los datos de diseño. Es la que se suele emplear en la solución de los problemas de este libro.”³⁹

Tabla 22. Diámetros del eje.

Denominación	Momento y torque factores	Ecuación	Diámetro (mm)
D1. Izquierda	Momento= 0 Torque= 0	$\left[\frac{32 * 2}{\pi} * \sqrt{\left[\frac{2 * 0 \text{ Nm}}{259,69 \times 10^6 \text{ N/m}^2} \right]^2 + \frac{3}{4} \left[\frac{0 \text{ Nm}}{3,43 \times 10^8 \text{ N/m}^2} \right]^2} \right]^{\frac{1}{3}}$	0 m
D1. Derecha.	Momento= 0 Torque= 12,29 Nm Factor= 2, (polea), Figura 36.	$\left[\frac{32 * 2}{\pi} * \sqrt{\left[\frac{2 * 0}{252,69 \times 10^6 \text{ N/m}^2} \right]^2 + \frac{3}{4} \left[\frac{12,29 \text{ Nm}}{3,43 \times 10^8 \text{ N/m}^2} \right]^2} \right]^{\frac{1}{3}}$	0,008 m 8,5 mm
D2.	Momento= 13,93 Nm Torque=12,29 Nm Factor= 1	$\left[\frac{32 * 2}{\pi} * \sqrt{\left[\frac{1 * 13,93 \text{ Nm}}{252,69 \times 10^6 \text{ N/m}^2} \right]^2 + \frac{3}{4} \left[\frac{12,29 \text{ Nm}}{3,43 \times 10^8 \text{ N/m}^2} \right]^2} \right]^{\frac{1}{3}}$	0,010 m 10 mm
D3	Momento= 13,93 Nm Torque=12,29 Nm Factor= 2,5	$\left[\frac{32 * 2}{\pi} * \sqrt{\left[\frac{2,5 * 13,93 \text{ Nm}}{259 \times 10^6 \text{ N/m}^2} \right]^2 + \frac{3}{4} \left[\frac{12,29 \text{ Nm}}{3,43 \times 10^8 \text{ N/m}^2} \right]^2} \right]^{\frac{1}{3}}$	0,014 m 14,10 mm
D4	Pendiente.		

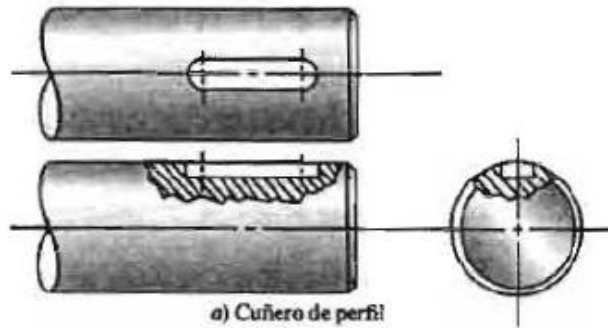
Fuente: elaboración propia.

³⁹ Fuente: Fuente: MOTT R. L. Diseño de elementos de máquinas. México. 1995. 177 p. ISBN 9688805750.

Factores de concentraciones de esfuerzos en los ejes. K_t

Figura 33. Cuñero de perfil.

• Cuñeros

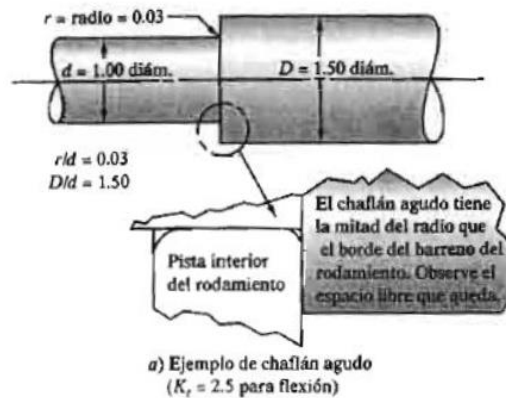


→ K_t (Perfil) = 2

Fuente: MOTT R. L. Diseño de elementos de máquinas. México. 1995. 177 p. ISBN 9688805750.

A continuación, se analiza el diámetro donde se ubica el rodamiento teniendo en cuenta que los rodamientos se ubican en chaflanes agudos, tenemos que:

Figura 34. Chaflanes escalonados (agudo).



→ $K_t = 2,5$

Fuente: MOTT R. L. Diseño de elementos de máquinas. México. 1995. 177 p. ISBN 9688805750.

Teniendo en cuenta que no es recomendable el uso de diámetros tan pequeños para no generar un rodillo frágil, con lo anterior los diámetros mínimos a usar son:

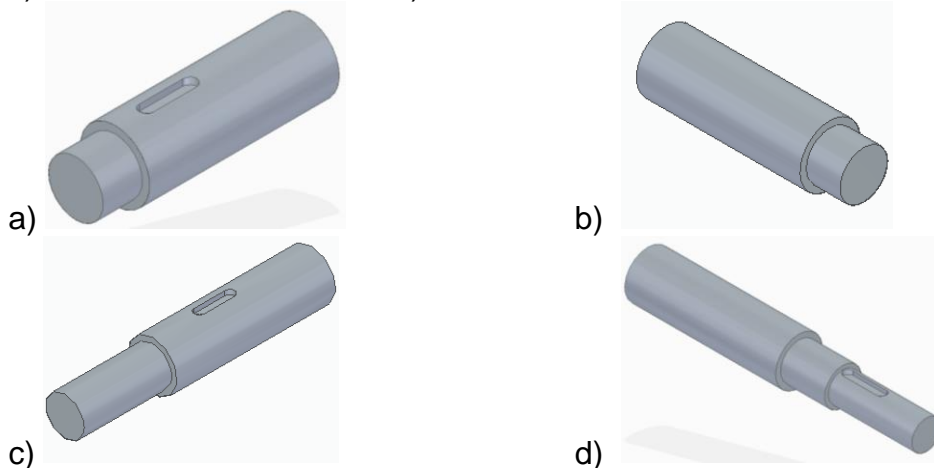
Tabla 23. Diámetros del eje.

Diámetro	Justificación.	Valor (mm)
D1	Mínimo se debe usar un eje de 8,5 mm	20 mm.
D3	Para el diámetro donde se ubica el rodamiento, se debe usar mínimo un diámetro de 18 mm, para parámetros de selección de rodamiento se hace uso de un diámetro de 25 mm. Teniendo en cuenta además factores mencionados en la sección 4.1.2.	25 mm
D4	Se recomienda que el diámetro siguiente a un rodamiento se debe aumentar $1/4$ in = 6,35 mm del diámetro $D4 = 25 \text{ mm} + 6,35 \text{ mm} = 31,35 \text{ mm}$ Aproximando al diámetro normalizado se selecciona un diámetro de 31,75 mm	31,75 mm

Fuente: elaboración propia.

A continuación, se observan los ejes una vez son mecanizados, de igual manera sus dimensiones pueden ser consultadas en el anexo D, planos 4, 5, 6 y 7.

Figura 35. Ejes de rodillos de presión. a) rodillo superior con cuña, b) rodillo superior. c) rodillo inferior con cuña, d) rodillo inferior con cuña al motor.



Fuente: elaboración propia.

- a) Consiste en un eje del rodillo superior de longitud total 105 mm, es un eje que posee una cuña para la transmisión de movimiento entre los rodillos de presión.
- b) Consiste en un eje del rodillo superior el cual posee una longitud de 105 mm.
- c) Consiste en un eje del rodillo inferior de longitud total de 160 mm este posee una cuña de las mismas características y dimensiones que en a)
- d) Consiste en un eje del rodillo inferior de longitud total de 190 mm, posee una cuña la cual tendrá como función el acople del engrane necesario para la transmisión de movimiento desde la unidad de potencia o motor.

Las medidas de las cuñas se darán en la sección 4.1.2.

Soldadura.

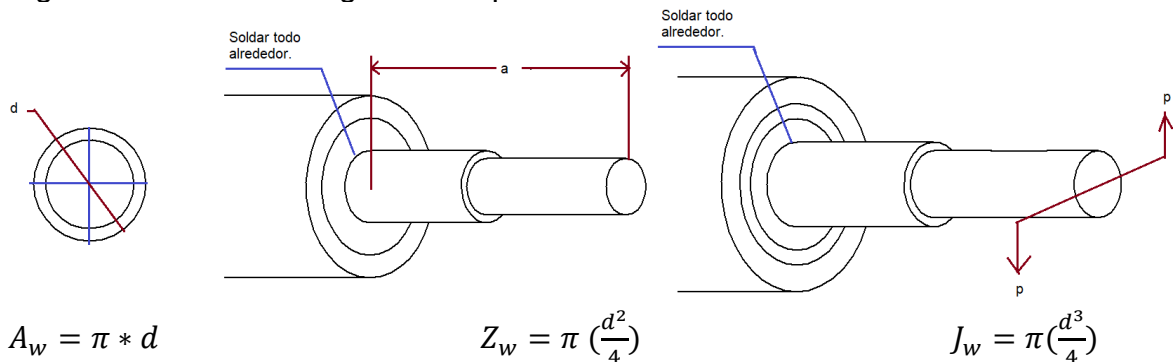
“Los materiales de la soldadura y de los miembros originales determinan las tensiones permisibles, La soldadura a tope permite que un ensamble tenga el mismo espesor nominal que las partes que se enlazan y por lo regular se carga en tensión. Si el ensamble se hace en forma correcta con el material de soldadura adecuado, el ensamble será más resistente que el metal original. Por lo que no se quiere ningún análisis especial si se demuestra que el ensamble es seguro.”⁴⁰

“La soldadura en chaflán por lo general se hace en ángulos rectos de lados iguales y el tamaño de la soldadura es indicado por la longitud del lado. Si se somete a carga de corte tenderá a fallar a lo largo de la dimensión más corta de la soldadura que es la línea a partir de la raíz de la soldadura hasta la cara teórica de la soldadura y normal respecto a la cara.”⁴¹

“El acero 1020 se puede soldar fácilmente, se recomienda soldadura A.W.S clase E-6010, E-6011, E6013 de la American Welding Society”⁴²

- Primero se propone la geometría del ensamble y el diseño de los miembros que se van a ensamblar

Figura 36. Factores de geometría para análisis de soldadura.



Fuente: elaboración propia. Basado en: MOTT R. L. Diseño de elementos de máquinas. Mexico. 1995. 770 p. ISBN 9688805750.

⁴⁰ MOTT R. L. Diseño de elementos de máquinas. México. 1995. 767 p. ISBN 9688805750.

⁴¹ IBID. 777 p.

⁴² General de aceros. Aceros ingeniería al carbono. SAE 1020 y SAE 1045. [En línea] Bogotá D.C. 2019. [Consultado el: 5 de diciembre de 2019]. 3 p. Disponible en: <https://repository.unilibre.edu.co/bitstream/handle/10901/7826/VasquezTorresEdwinLibardo2013Anexos.pdf?sequence=2>

Tipos de tensiones a los que está sujeto el ensamble. El ensamble se ve sometido a esfuerzo de corte vertical directo, esfuerzo de flexión y torsión. Al no encontrarse sometido en ningún sentido de fuerzas axiales, no existe tensión directa o compresión.

La magnitud de las fuerzas anteriormente nombradas viene dada por las ecuaciones 9, 10 y 11.

Para hallar es esfuerzo de corte vertical, se tiene como fuerza V el peso $w=mg$, teniendo en cuenta la sección 4.1.5. Se tiene un peso total de los rodillos de 11,706 kg, es decir un $w= 116,84$ N. al ser un sistema con dos apoyos esta fuerza de corte es dividida en 2, teniendo una fuerza de 58,42 N por soldadura. (mostrado en la sección 4.1.5)

Ecuación 9. Esfuerzo de corte vertical directo.

$$f_s = \frac{V}{A_w} = \frac{V}{\pi * d} = \frac{V}{\pi * 0.03175 \text{ m}} = \frac{58,42 \text{ N}}{0,099 \text{ m}} = 590,56 \frac{\text{N}}{\text{m}}$$

Fuente: MOTT R. L. Diseño de elementos de máquinas. México. 1995. 770 p. ISBN 9688805750.

A continuación, se tiene la fuerza de 58,42 N y una distancia de 0,19 m con esto se halla la fuerza de flexión.

Ecuación 10. Esfuerzo de flexión.

$$F_b = \frac{M}{Z_w} = \frac{(58,42 \text{ N})(0,19 \text{ m})}{0,00079 \text{ m}^2} = \frac{14019,6 \text{ N}}{\text{m}}$$

$$Z_w = \pi \left(\frac{d^2}{4} \right) = \pi \left(\frac{0,03175 \text{ m}^2}{4} \right) = 0,00079 \text{ m}^2$$

Fuente: MOTT R. L. Diseño de elementos de máquinas. Mexico. 1995. 770 p. ISBN 9688805750.

Para hallar el esfuerzo de torsión se requiere:

$$T = V * L = 58,42 \text{ N} * 0,11982 \text{ m} = 14 \text{ Nm}$$

Donde L es la longitud del torque. O el radio de la polea

$$C = \frac{OD}{2} = \frac{0,03175m}{2} = 0,015875 m$$

Ecuación 11. Esfuerzo de torsión.

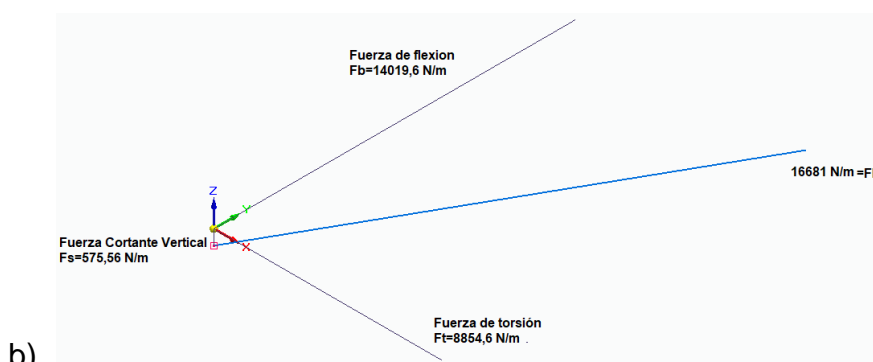
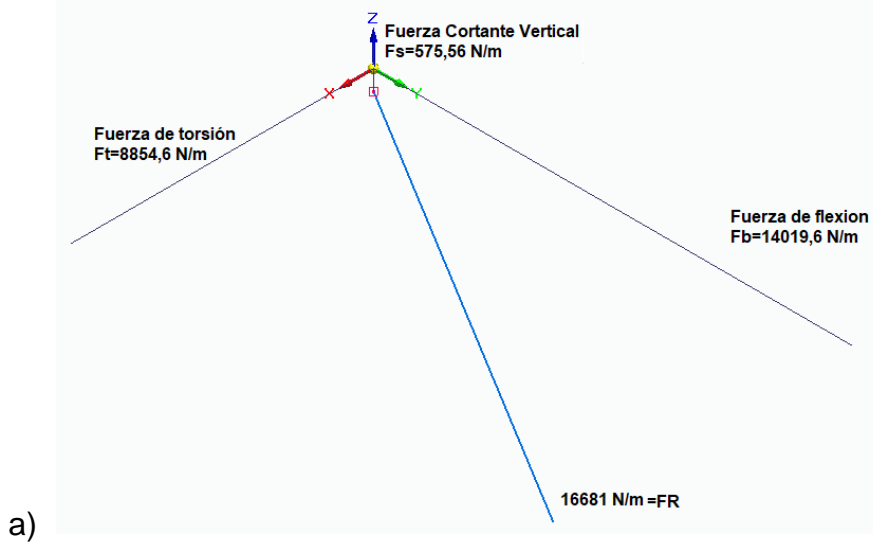
$$f_t = \frac{T * c}{J_w} = \frac{14Nm * 0,015875m}{0,0000251 m^3} = 8854,6 \frac{N}{m}$$

$$J_w = \pi \left(\frac{d^3}{4} \right) = \pi \left(\frac{0,03175^3}{4} \right) = 0,0000251 m^3$$

Fuente: MOTT R. L. Diseño de elementos de máquinas. Mexico. 1995. 770 p. ISBN 9688805750.

Una vez se tiene la magnitud de las fuerzas se halla la resultante por método gráfico donde se obtiene la siguiente figura.

Figura 37. Fuerza resultante de la soldadura (Método gráfico).



Fuente: elaboración propia.

Al comparar esta resultante de 16681 N/m (95,251 lb/in) con la fuerza admisible de la soldadura en este caso tomamos una soldadura E-6013 cuya fuerza permisible por pulgada del tamaño de lado de la soldadura es de 9600 lb/in por lo tanto la longitud de lado de soldadura necesaria es de:

Ecuación 12. Longitud de la soldadura.

$$w = \frac{16681 \frac{N}{m} * \frac{1lb}{4.482N} * \frac{1m}{100cm} * \frac{2,54cm}{1in}}{9600 \frac{lb}{in} \text{ por pulgada de lado}} = \frac{94,533lb}{9600 \frac{lb}{in} \text{ por pulgada de lado}} = 0,0098 \text{ in} = 0,25 \text{ mm}$$

Fuente: MOTT R. L. Diseño de elementos de máquinas. Mexico. 1995. 770 p. ISBN 9688805750.

Teniendo en cuenta que la soldadura mínima es de 0,25 mm se selecciona una soldadura de 2,4 mm de diámetro de E-6013.

Figura 38. Soldadura de E-6013.

AMPERAJES RECOMENDADOS										
Cod. SAP	Ref. AWS	Ref. Prov.	Diam. Electrodo		Long. Electrodo		Amperaje		Electrodo x kg aproximado	Kg/Caja
			pulg	mm	pulg	mm	min	max		
2000046	E 6013	E 6013	3/32	2,4	12	300	40	90	52	25

Fuente: Indura. Tecnología a su servicio. Soldadura indura INDURA 6013– AWS E-6013. [En línea]. 2019. [Consultado el 8/diciembre/2019]. Disponible en: <http://www.cryogas.com.co/Descargar/INDURA%206013%20%E2%80%93%20AWS%20E-6013?path=%2Fcontent%2Fstorage%2Fco%2Fbiblioteca%2Fbe9c677c9a414e56b688f4013da62d07.pdf>

Recubrimiento de caucho.

A continuación, el tubo es recubierto por un caucho el cual dará mejor agarre y no permitirá el deslizamiento de las láminas, el espesor del caucho preferiblemente debe superar los 6 mm. Por lo que es ideal un espesor de 9,85mm y así obtener el diámetro total de 80 mm

Ecuación 13. Diámetro total de los rodillos de presión.

<p>Diámetro total: Diámetro del tubo + 2* (Espesor del caucho)</p> $\begin{aligned} \text{Diámetro Rodillo} &= 60.3 \text{ mm} + 2 * (9.85 \text{ mm}) \\ &= 60.3 \text{ mm} + 19.7 \text{ mm} = 80 \text{ mm} \end{aligned}$

Fuente: elaboración Propia.

Para la selección de este caucho se tiene en cuenta las características en las que va a trabajar el rodillo, donde no existe contacto con fluidos, temperaturas altas o llamas. con respecto a lo anterior, se tienen los siguientes criterios:

- Alta resistencia a la abrasión
- Mínima degradación por envejecimiento.
- No es de gran importancia la resistencia a altas temperaturas y el fuego.
- No es de gran importancia la propiedad dieléctrica.
- Al no trabajar con fluidos, no es necesaria la resistencia a aceites o hidrocarburos.
- Alta resiliencia.

El recubrimiento que se usara para los rodillos es de caucho estireno butadieno (SBR),

Tabla 24. Características del recubrimiento del caucho.





Recubrimiento	Rango de durezas Sh° A	de Características	Observaciones
Caucho estireno butadieno SBR	De 35 a 95 Shore A	Excelente resistencia a la abrasión, mínima degradación por envejecimiento	Buenas propiedades químicas, dinámicas, mecánicas y temperatura.

Fuente: Tecno Caucho Rolls & covers. [En línea]. Valencia, España. 2019. [Consultado el 3 de diciembre de 2019]. Disponible en: <https://www.tecnocaucho.com/division-de-caucho/>

Donde se usará una dureza de 80, debido a que es considerada una dureza que no permite la deformación, ni el deslizamiento del material como en el caso de una dureza 100.

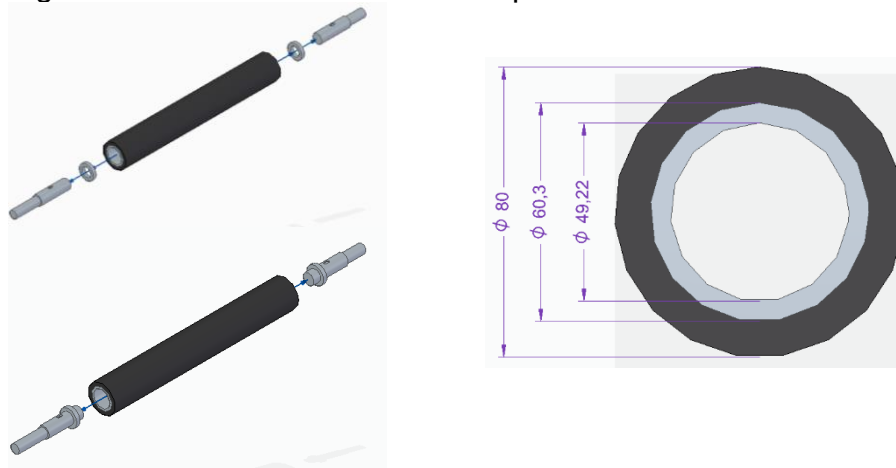
Este proceso se lleva a cabo por medio de un autoclave como se muestra en la siguiente tabla.

Cuadro 7. Proceso de fabricación con autoclave

#	Procedimiento	Imagen.
1	Se inicia el proceso con un mecanizado del rodillo en el cual se ralla el material para mejorar el agarre del caucho.	
2	Una vez mecanizado se cubre de caucho y se envuelve con una venda o faja para que el caucho se compacte. A continuación, se ingresa en un autoclave	
3	Se mecaniza el caucho para obtener el diámetro deseado.	
4	Cuando se encuentra en un diámetro aproximado se pule con una piedra especializada.	

Fuente: elaboración propia. Basado en: Universal de cauchos [Sitio web]. 2016. Bogotá D.C.. [Consultado el 3 de diciembre de 2019]. Disponible en: <https://universaldecauchos.com/project/recubrimiento-de-rodillos/>

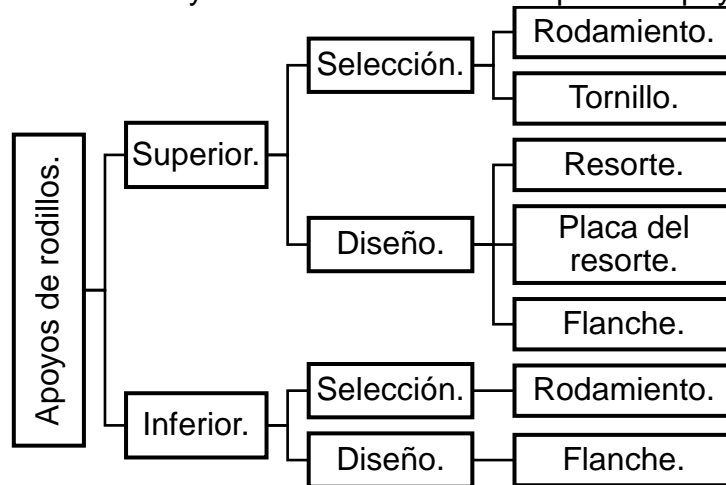
Figura 39. Ensamble de rodillos de presión.



Fuente: elaboración propia.

4.1.2 Apoyo de rodillos. Los dos rodillos se ubican de forma paralela y son incorporados al bastidor mediante el uso de apoyos, para su diseño el sistema se va a dividir en dos: superior e inferior; teniendo en cuenta si será diseñado o seleccionado al ser un elemento normalizado.

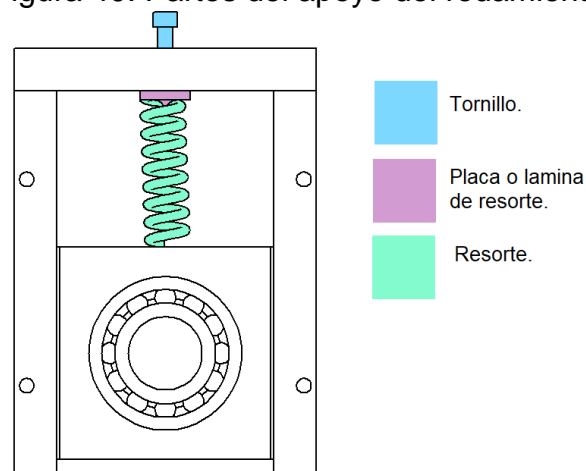
Diagrama 14. Diseño y selección de elementos para el apoyo de Rodillos



Fuente: elaboración propia.

Apoyo del rodillo de presión superior. El rodillo superior es aquel rodillo que será conducido por el rodillo inferior, está diseñado para impedir el daño de los rodillos al momento de existir alguna interferencia entre los rodillos cuando están accionados. Está compuesto principalmente por la estructura, el rodamiento, resorte, tornillo, y placa o lamina tope del resorte.

Figura 40. Partes del apoyo del rodamiento.



Fuente: elaboración propia.

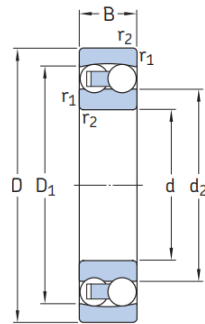
- Selección.

Rodamiento. Para la selección del rodamiento se debe tener en cuenta que el rodillo se podrá someter a movimientos en diferentes sentidos.

Criterios de selección.

- Espacio disponible: Debe acoplarse a un eje de 25 mm.
- Velocidad y fricción: girar a 1000 rpm aproximadamente.
- Temperatura: No aplica.
- Desalienación: Rodamiento de bolas autoalineables.
- Rodamiento seleccionado: 2205 ETN9
- Cargas: la carga soportada es de 6,5 kg= 0,064 kN justificado en la sección 4.1.4; sección donde se ubican la carga de todos los elementos de los rodillos.

Figura 41. Catalogo y selección de rodamiento de bolas autoalineable, SKF.



Agujero cilíndrico

Dimensiones principales			Capacidad de carga básica		Carga límite de fatiga	Velocidades nominales		Masa	Designaciones
d	D	B	C	C ₀	P _u	Velocidad de referencia	Velocidad límite	kg	Rodamiento con agujero cilíndrico
mm			kN		kN	r. p. m.			–
25	52	18	16,8	4,4	0,23	26 000	18 000	0,16	2205 ETN9

Fuente: Catalogo skf, octubre 2015. Grupo SKF. [consultado: 5 de septiembre de 2019]. 552 p. disponible: www.skf.com/binary/76-121486/0901d19680416953-10000_2-ES---Rolling-bearings.pdf

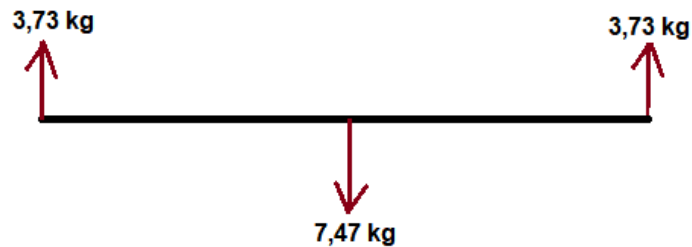
Tornillo. El tornillo usado a continuación tiene como única función el movimiento de la placa para comprimir el resorte. Se ha establecido un tornillo de M5 x 25mm para cumplir con la labor.

- Diseño.

Resorte. Para el diseño del resorte se establece la fuerza mínima y máxima a trabajar, para ello se toma como fuerza máxima el peso del resorte debido a que debe tener la fuerza necesaria para permanecer el rodillo en su posición.

Como fuerza mínima se toma la fuerza necesaria para el movimiento del rodillo que en este caso sería la fuerza de fricción.

Figura 42. Diagrama para calcular el resorte.



Fuente: elaboración propia.

Fuerza de fricción

Ecuación 14. Fuerza de fricción.

$$F_f = N * \mu = 3,73 \text{ kg} * 0,82 = 3,0586 \text{ kg} = 6,7289 \text{ lb}$$

Fuente: SERWAY Raymond. Mexico D.F. Cengage learning. 2008. 60 p. séptima edición. ISBN ISBN-13: 978-607-481-357-9

Tabla 25. Masa total de los elementos.

Elementos	masa (kg)
Tubo	4,1085
Ejes	1,30846
Caucho	1,115
flanche superior.	0,9412
Total.	7,47316

Fuente: elaboración propia.

Debido a que esa es la fuerza total a ejercer por los dos resortes, se debe dividir esa fuerza en 2

Tabla 26. Fuerza mínima de un resorte.

total.	3,73 kg
	8,223 lb
FS	2
Fuerza máxima	16,446

Fuente: elaboración propia.

- F máx. = 16,44 lb
- F min= 6,73 lb
- C= 10
- Deflexión de trabajo (Y trabajo) = 1 ln
- G= 11500000 Psi

Tabla 27. Cálculos del resorte. ASTM A228

1	Numero de ciclos que soportara el soporte	N	1248000000	rpm
2	Fuerza media	Fm	11,588	lb
2	Fuerza alternante	Fa	4,858	lb
3	Suponer un diámetro de alambre	d	0,038	in
4	El diámetro del resorte	D	0,38	in
5	Factor de cortante directo	Ks	1,05	-
6	Esfuerzo de la deflexión inicial (la menor fuerza definida)	Ti	124616,998	psi
7	Esfuerzo medio	tm	214570,843	psi
8	Factor de concentración de esfuerzo	kw	1,14483333	lb/in
9	Esfuerzo cortante alternante	Ta	98078,2476	psi
	Factor A		184649	psi
	Factor B		-0,1625	
10	Resistencia ultima a la tensión	Sut	314146,428	psi
11	Resistencia ultima al cortante	Sus	210478,107	psi
12	Resistencia a la fluencia por cortante de torsión	Sys	188487,857	psi
13	Límite de resistencia a la fatiga cortante a la torsión	Sew	67500	psi
14	Resistencia limite carga fatiga cortante a la torsión repetida invertida.	Ses	40195,2821	psi
15	Factor de seguridad fatiga cortante a la torsión.	N fs	0,14226494	-
16	Tasa de resorte	k	9,716	lb/in
17	Numero de espiras activas	Na	5,62216962	-
18	Numero de espiras activas	Na	5,5	-
	Tasa de resorte	K	9,93181818	lb/in
19	Número total de espiras	Nt	7,5	-
20	Altura de cierre	Ls	0,285	in

Fuente: elaboración propia.

Figura 43. Resorte.

Resortes para Cargas Livianas DieMax XL™

Tamaños en Sistema Métrico
Color: Verde

Alambre Rectangular:

- Más Metal
- Más Resistencia
- Más Longitud de Carrera
- Mavor Vida Útil

Resortes IEM:

- Vida Útil Uniforme
- Factores de Compresión Confiables
- Larga Vida Útil
- Lonaitudes Uniformes



*Nota: 1 Newton = 0.10197 Kg (Fuerza)

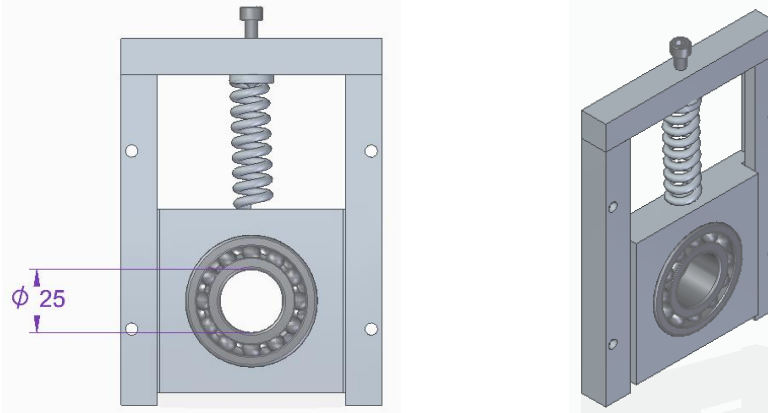
Diám. orificio mm	Diám. barra mm	Longitud libre mm	NÚMERO DE CATALOGO	FACTOR DE COMPRESIÓN* Newton necesarios para una deflexión de 1 mm	TABLA RELACIÓN CARGA-DEFLEXIÓN							
					Deflexión total se recomienda para prolongación de vida útil (25% de C)		Deflexión total se recomienda para vida útil promedio (30% de C)		Deflexión máxima de funcionamiento (40% de C)		Carrera total a resorte comprimido	
					Carga en N	Deflexión mm	Carga en N	Deflexión mm	Carga en N	Deflexión mm	Carga en N	Deflexión mm
10	5	64	9-10064-1	4.5	72	16.0	86	19.2	115	25.6	170	38.0

Fuente: IEM. Resortes de máxima duración. DIEMAX XL [En línea]. 2003 [Consultado el 11 de diciembre de 2019] disponible en: http://www.danly.com/PDFs/IEM-DieMax_SPA.pdf

Placa o lamina tope del resorte. Es la placa encargada del empuje o compresión del resorte.

Al ensamblar el sistema se obtiene el siguiente montaje.

Figura 44. Apoyo rodamiento de rodillo de presión superior.



Fuente: elaboración propia.

Apoyo rodillo presión inferior. Este es el apoyo diseñado para el rodillo inferior, el cual es considerado el rodillo motriz, para su sujeción con el bastidor se usa el siguiente modelo.

- Selección.

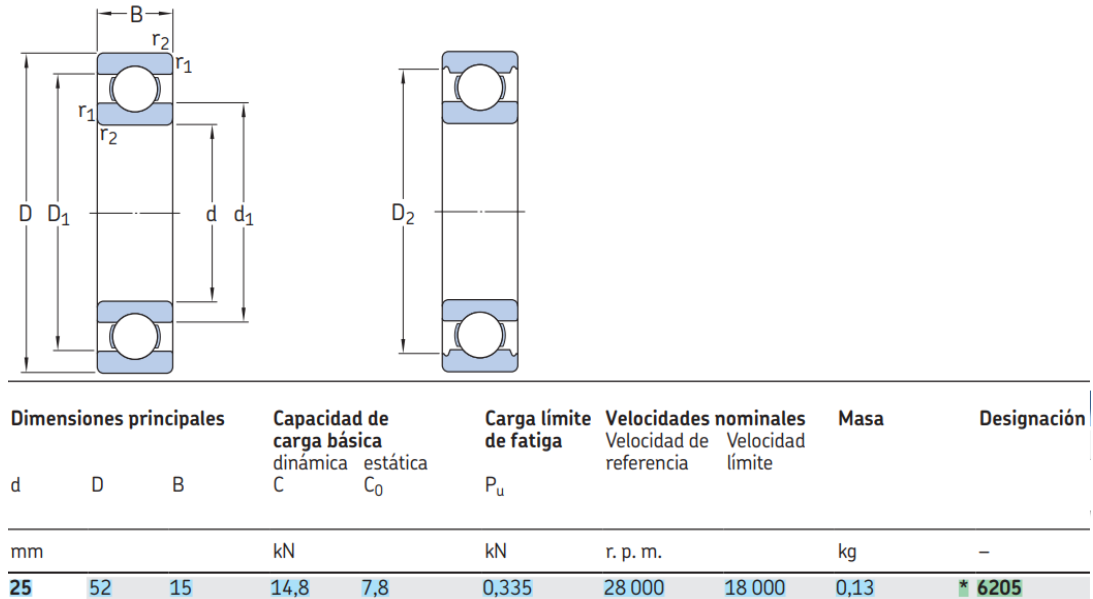
Rodamiento.

Criterios de selección.

- Espacio disponible. Eje de diámetro 25 mm
- Velocidad y fricción. 1000 rpm aproximadamente
- Desalienación. No requiere
- Temperatura. No aplica

El rodamiento usado es de 6205

Figura 45. Catalogo y selección de rodamiento rígido de una hilera de bolas.



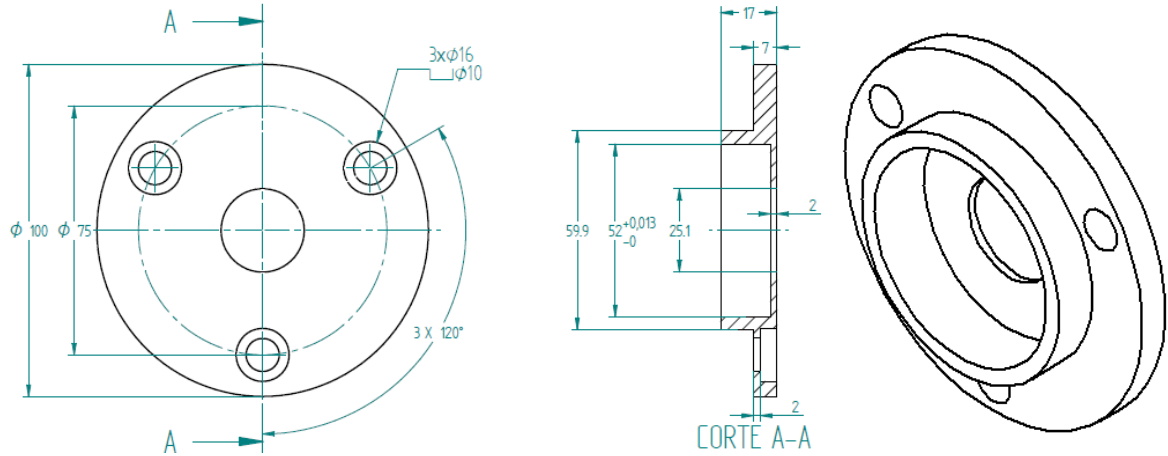
Fuente: SKF. Catalogo skf, Grupo SKF. octubre 2015. [consultado el 5 de septiembre de 2019]. 326 p. disponible en: https://www.skf.com/binary/76-121486/0901d19680416953-10000_2-ES--Rolling-bearings.pdf

Tornillo. Este tornillo debe acoplar el Flanche al bastidor, para esta labor se ha seleccionado tornillos M10.

- Diseño.

Flanche. Es aquella cubierta que soporta el rodamiento previamente seleccionado, además acopla el sistema de dosificación al bastidor.

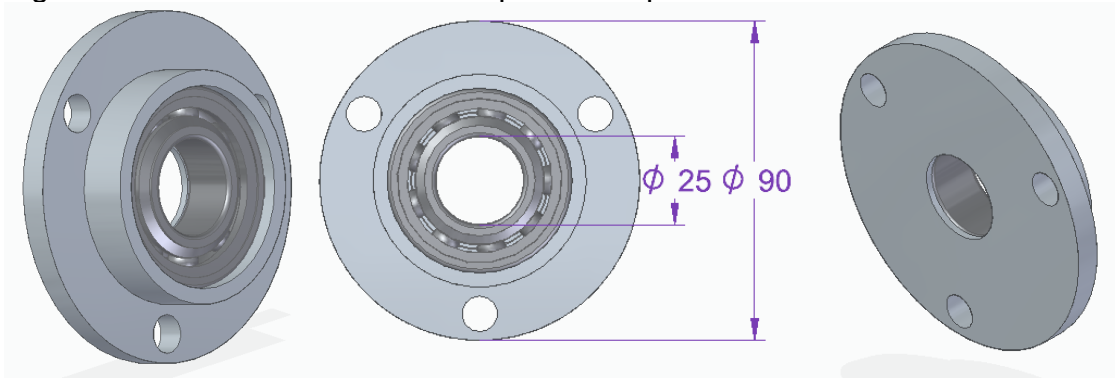
Figura 46. Catalogo y selección de rodamiento rígido de una hilera de bolas.



Fuente: elaboración propia.

A continuación, se presenta el apoyo de rodillo inferior una vez se ha ensamblado.

Figura 47. Ensamble del rodillo de presión superior.



Fuente: elaboración propia.

4.1.3 Transmisión de movimiento. Para el movimiento entre rodillos es necesario el acople de engranes semejantes entre sí, así el avance entre las láminas es el mismo. Para la selección de estos se definió que el diámetro primitivo será de 80 mm debido a que el diámetro de cada rodillo de presión es 80mm, con respecto al módulo se tomo

$$P = \tau * \omega = 12,29 \text{ Nm} * 13,75 \frac{\text{rad}}{\text{s}} = 168,98 \text{ W} = 0,1689 \text{ kw}$$

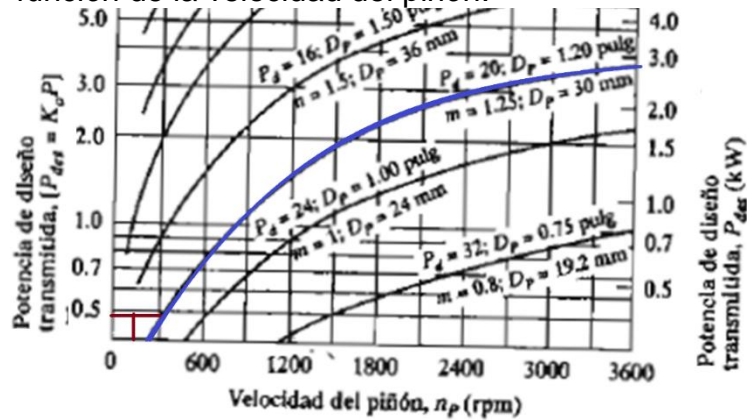
$$P_{\text{diseño}} = 0,1689 \text{ kw} * F_s = 0,1689 \text{ kw} * 1,7 = 0,34 \text{ Kw}$$

Velocidad angular (Sección 4.2.3)

$$\omega = 131,30 \text{ rpm}$$

Con los valores anteriores se determina el módulo a usar.

Diagrama 15. Potencia de diseño transmitida en función de la velocidad del piñón.



Fuente: MOTT R. L. Diseño de elementos de máquinas. México. 1995. 409 p. ISBN 9688805750.

Engranajes semejantes.

- Módulo: $m = 1,25$
- Diámetro primitivo: $d_p = 80 \text{ mm}$

Ecuación 15. Numero de dientes.

$$z = \frac{d_p}{m} = \frac{80}{1,25} = 64$$

Fuente: SHIGLEY. J.E. Teoría de máquinas y mecanismos. México. Mc Graw Hill 2001. 260 p. ISBN 0-07-056884-7

$Z = 64$ dientes.

Ecuación 16. Diámetro exterior.

$$D_e = m(z + 2) = 1,25 * (64 + 2) = 82,5 \text{ mm}$$

Fuente: BOSTON GEAR. Altra industrial motion. EEUU. Boston gear. 2019 [Consultado el: 12 de septiembre de 2019]. 4 p. disponible en: www.bostongear.com/-/media/Files/Literature/Brand/boston-gear/catalogs/p-1930-bg-sections/p-1930-bg_engineering-info-spur-gears.ashx

Diámetro interior.

Ecuación 17. Diámetro interior.

$$D_i = m(z - 2,5) = 1,25 * (64 - 2,5) = 76,875 \text{ mm}$$

Fuente: BOSTON GEAR. Altra industrial motion. EEUU. Boston gear. 2019 [Consultado el: 12 de septiembre de 2019]. 4 p. disponible en: www.bostongear.com/-/media/Files/Literature/Brand/boston-gear/catalogs/p-1930-bg-sections/p-1930-bg_engineering-info-spur-gears.ashx

Altura del diente

Ecuación 18. Altura del diente.

$$h = 2,25 * m = 2,25 * 1,25 = 2,81 \text{ mm}$$

Fuente: BOSTON GEAR. Altra industrial motion. EEUU. Boston gear. 2019 [Consultado el: 12 de septiembre de 2019]. 4 p. disponible en: www.bostongear.com/-/media/Files/Literature/Brand/boston-gear/catalogs/p-1930-bg-sections/p-1930-bg_engineering-info-spur-gears.ashx

Longitud diente:

Ecuación 19. Longitud diente.

$$B = 10 * m = 10 * 1,25 = 12,5 \text{ mm}$$

Fuente: BOSTON GEAR. Altra industrial motion. EEUU. Boston gear. 2019 [Consultado el: 12 de septiembre de 2019]. 4 p. disponible en: www.bostongear.com/-/media/Files/Literature/Brand/boston-gear/catalogs/p-1930-bg-sections/p-1930-bg_engineering-info-spur-gears.ashx

Ancho del diente: 1 cm

Cuñas. Según intermec⁴³ los cuñeros vienen en medidas estandarizadas de sección cuadrada, en pulgadas y fabricadas en cold rolled. Los cuñeros deben ser mecanizados del tipo de caja con los extremos en semicírculo.

⁴³ INTERMEC. [en línea]. Intermecc. [consultado el: 12 de septiembre de 2019]. 1 p. Disponible en: https://www.intermec.com.co/pdf/cunas_y_cuneros_estandar.pdf

La empresa explica que existen dos tipos de cuñas de sección rectangular y cuadrada, las cuñas de sección rectangular son aconsejables para diámetros superiores a 6 ½ in, no cual no es nuestro, así mismo se decidió que se tomara una sección cuadrada. En todos los casos se tomó el mismo cuñero en el sistema de dosificación.

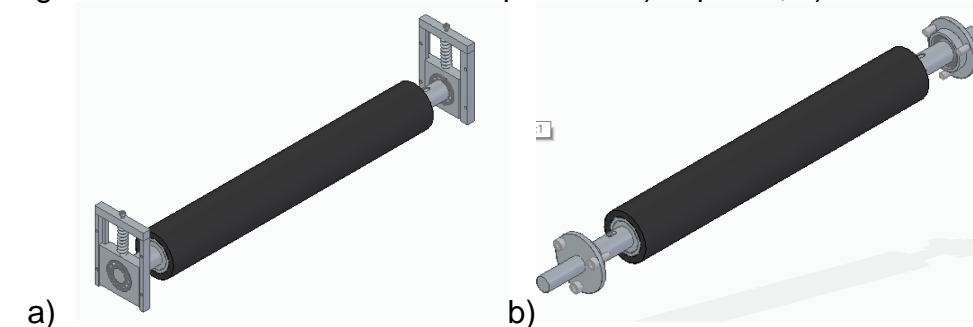
Figura 48. Tabla y selección de los cuñeros y cuñas estándar en pulgadas de sección cuadrada.

Diámetro del eje [pulg]	Anchura y profundidad del cuñero [pulg]	Cuña de sección cuadrada [pulg]	Diámetro del prisionero [pulg]
7/8+ a 1-1/4	1/4 x 1/8	1/4 x 1/4	1/4

Fuente: INTERMEC. [en línea]. Intermec. [consultado el: 12 de septiembre de 2019]. 1 p. Disponible en: https://www.intermec.com.co/pdf/cunas_y_cuneros_estandar.pdf.

5.3.1 Ensamble del sistema de dosificación. Una vez obtenidos todas las partes se procede a realizar el ensamble, donde se ubican los engranes de transmisión entre rodillos, y a continuación los apoyos de rodamientos. A continuación, se muestra el montaje del rodillo de presión superior, respectivamente se el rodillo inferior.

Figura 49. Ensamble del rodillo de presión: a) superior, b) inferior.



Fuente: elaboración propia.

5.3.2 Simulación del sistema. Diagrama de cuerpo libre. Para la realización del diagrama de cuerpo libre, es necesario conocer el peso total del sistema con todos sus elementos y así conocer las reacciones en los apoyos. A continuación, se halla el peso de cada elemento.

Peso de los elementos.

Peso del tubo. Teniendo en cuenta el catálogo de surtiniples el peso se halla de la siguiente manera.

$$longitud\ del\ tubo = 55\ cm * \frac{1m}{100\ cm} = 0.55\ m$$

Tabla 28. Masa del tubo.

Tubo	Longitud	Peso	Ecuación.	Masa (kg)
1	0,55 m	7,47 kg/m	peso del tubo = $\frac{7.47kg}{m} * 0.55m$	4.1085
Peso total de un solo tubo				4,1085
Teniendo en cuenta que son dos tubos para los rodillos de presión obtenemos:				
Peso total de los tubos = 4.1085 kg * 2 tubos				8,217

Fuente: elaboración propia.

Ejes laterales. Teniendo en cuenta que son de C.R, su densidad es de 7.87G/cm3. El volumen de cada eje se halla con la siguiente ecuación.

$$Volumen = v = \frac{\pi}{4} * (D)^2 * L$$

Son 4 ejes con las siguientes características.

Tabla 29. Volumen de los ejes laterales.

Denominación Eje	Diámetro (cm)	Longitud (cm)	Ecuación.	Volumen (cm³)
1	3.175	10.5	$v = \frac{\pi}{4} * (3.175cm)^2 * 10.5cm$	83.13
2	3.175	10.5	$v = \frac{\pi}{4} * (3.175cm)^2 * 10.5cm$	83.13
3	3.175	16.0	$v = \frac{\pi}{4} * (3.175cm)^2 * 16.0cm$	126.6769
4	3.175	19.0	$v = \frac{\pi}{4} * (3.175cm)^2 * 19.0cm$	150.429

Fuente: elaboración propia.

Tabla 30. Masa de los ejes laterales.

Denominación Eje	Densidad (g/cm)	Volumen (cm ³)	Ecuación.	Masa (g)
1	7.87	83.13	$m = \rho * v = 7.87 \frac{g}{cm^3} * 83.13 cm^3$	654.23
2	7.87	83.13	$m = \rho * v = 7.87 \frac{g}{cm^3} * 83.13 cm^3$	654.23
3	7.87	126.6769	$m = \rho * v = 7.87 \frac{g}{cm^3} * 126.67 cm^3$	996.95
4	7.87	150.429	$m = \rho * v = 7.87 \frac{g}{cm^3} * 150.43 cm^3$	1183.88
Total, peso de los ejes.				3489.29g 3.489 Kg

Fuente: elaboración propia.

Tabla 31. Volumen del Flanche inferior.

Flanche inferior.	Diámetro (cm)	Longitud (cm)	Ecuación.	Volumen (cm ³)
Placa maciza	10	0,7	$v = \frac{\pi}{4} * ((10cm)^2 - (2.51cm)^2) * 0.7cm$	51.5142
Placa maciza	5,49	1	$v = \frac{\pi}{4} * ((5.49cm)^2 - (5.2cm)^2) * 1cm$	2.4348
Agujero	5,2	1		
Volumen total del Flanche inferior.				53.95

Fuente: elaboración propia.

Flanche

Tabla 32. Volumen del Flanche superior.

Flanche superior.	Área transversal	Longitud (cm)	Ecuación.	Volumen (cm ³)
Placa maciza	8,5cm x 7,2cm	0.7	$v = 8,5cm * 7,2 cm * 0,7 cm$	42.84
Placa maciza	7,2cm x 7,2cm	1	$v = 7,2cm * 7,2 cm * 1 cm$	51.84
Agujero	Diámetro (cm) 5,2	1,7	$v = \frac{\pi}{4} * (5.2cm)^2 * 1,7cm$	36,1031
Volumen total del flanche superior				58.5769

Fuente: elaboración propia.

densidad de hot rolled. $7.85 \times 10^{-3} \text{ kg/cm}^3$

Tabla 33. Masa del Flanche.

Flanche	Volumen (cm ³)	Ecuación.	Masa (kg)
Superior	59,95	$m = \frac{0,0000785kg}{cm^3} * 59,95 cm^3$	0,47
2 flanches superiores.			0,9412
Inferior.	58,5769	$m = \frac{0,0000785kg}{cm^3} * 59,95 cm^3$	0,459
2 flanches inferiores.			0,9196
Peso total de los flanches.			1,86

Fuente: elaboración propia.

Tabla 34. Peso de los rodamientos del sistema de dosificación.

Rodamientos	Cantidad	Peso (kg)	Masa total (kg)
2205 ETN9	2	0,16	0,32
6205	2	0,13	0,26
Masa total rodamientos			0,58

Fuente: elaboración propia.

- Cuña

<p>Volumen. 6,35 mm x 6,35 mm x 20 mm= 806.45 mm³=0,80645</p> <p>CR= 7,87 g/cm³ → 7,87 g/cm³*0,80645 cm³= 6,3467 g = 0,006347 kg</p>
--

- Caucho.

<p>$Volumen = \frac{\pi}{4} * ((8cm)^2 - (6,03cm)^2) * 55cm = 1193.92cm^3$</p> <p>0.934 g/cm³*1193.92 cm³=1115.12g= 1,115 kg*2 cauchos=2,23 kg</p>

- Engrane
 - AISI 1020 → 7860 Kg / m³ .
 - Diámetro= 80 mm

$$\frac{\pi}{4} (8cm)^2 * (2 cm) = 100.53cm^3 = 0,00010m^3$$

$$m = \rho * v = \frac{7860kg}{m^3} * 0,00010m^3 = 0,79 kg$$

2 engranes → m total= 1,58 kg

- Polea
- AISI 1020 → 7860 Kg / m³
- Diámetro: 119,82 mm

$$v = \frac{\pi}{4} (11,982 \text{ cm})^2 * (2 \text{ cm}) = 225,51 \text{ cm}^3 = 0,0002215 \text{ m}^3$$
$$m = \rho * v = \frac{7860 \text{ kg}}{\text{m}^3} * 0,0002215 \text{ m}^3 = 1,7409 \text{ kg}$$

Tabla 35. Peso de otros elementos del sistema de dosificación.

Elementos.	cantidad	Peso (Kg)	Peso total de elementos (Kg)
Caucho	2	1,115	2,23
Cuñas	2	0,006347	0,0127
Engranes	2	0,79	1,58
Polea de 76 dientes	1	1,7409	1,7409
Peso total de elementos.			5,5636

Fuente: elaboración propia.

Masa total de los elementos = 8,217 kg + 3,489 kg + 1,86 kg + 0,58 kg + 5,5636 kg = 19,7096 kg

Se halla la fuerza ejercida por el peso.

$$F = m \times g = 19,7096 \text{ kg} * 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}} = 193,3511 \text{ N} * FS = 193,3511 \text{ N} * 1,3$$
$$= 251,35 \text{ N}$$

Una vez se tiene el peso de todos los elementos se procede al diagrama, teniendo en cuenta que el peso se ubica en el centro de masa.

Figura 50. Diagrama de cuerpo libre.



Fuente: elaboración Propia.

Una vez se tiene el diagrama de cuerpo libre se hallan las reacciones. F_A & F_B

$$\sum F_y = 0$$
$$F_A + F_B - W = 0 \quad (1)$$

$$\sum M_B = 0$$
$$-700 \text{ mm} \times F_A + 251,35 \text{ N} \times 350 \text{ mm} = 0 \quad (2)$$

$$F_A = \frac{-251,35 \text{ N} \times 350 \text{ mm}}{-700 \text{ mm}} = 125,675$$

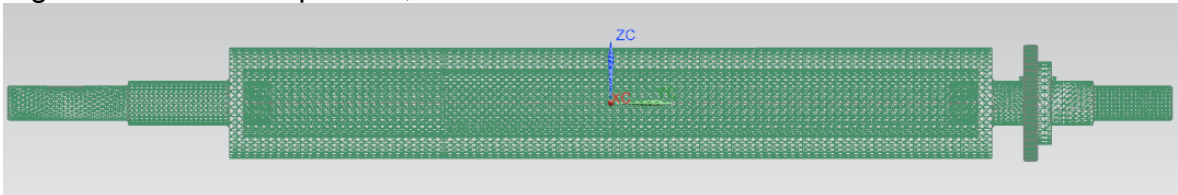
$$F_B = w - F_A = 251,35 \text{ N} - 125,675 \text{ N} = F_B \quad (2) \text{ en } (1)$$

$$F_B = 125,675 \text{ N}$$

Simulación. Teniendo en cuenta lo anterior se va a realizar una simulación en NX 12. La cual tiene como función analizar el desplazamiento y el esfuerzo nodal, del sistema estático lineal.

Para iniciar, se selecciona el rodillo de presión inferior, debido a que es considerado el elemento crítico sobre el cual está apoyado el rodillo de presión superior. A continuación, se sitúa una malla tetraédrica 3D. de tamaño de elementos 5,8 mm

Figura 51. Rodillo de presión, mallado.



Fuente: elaboración propia.

La anterior malla tiene las siguientes características.

Tabla 36. Propiedades de la malla utilizada.

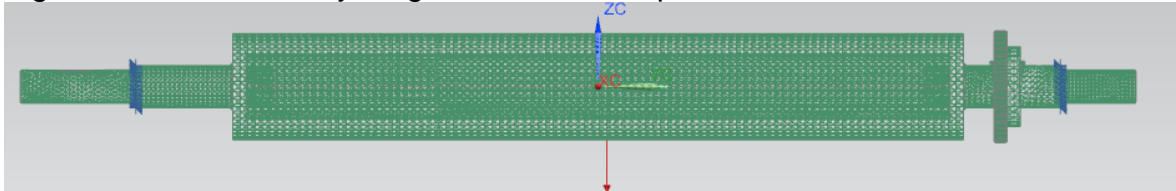
Propiedad	Valor
Tipo de malla	3D tetraédrica CTETRA 4
Número de elementos en la malla	59588
Numero de nodos en la malla	16307
Tamaño de elementos	5,8 mm

Fuente: elaboración propia. Basado en la información proporcionada por NX 12.

A continuación, se ubican las restricciones de movimiento y las cargas donde se tiene:

- Carga: 251,35 N en el centro de masa.
- Restricciones de desplazamiento. Restricciones fijas en los apoyos de los bastidores.

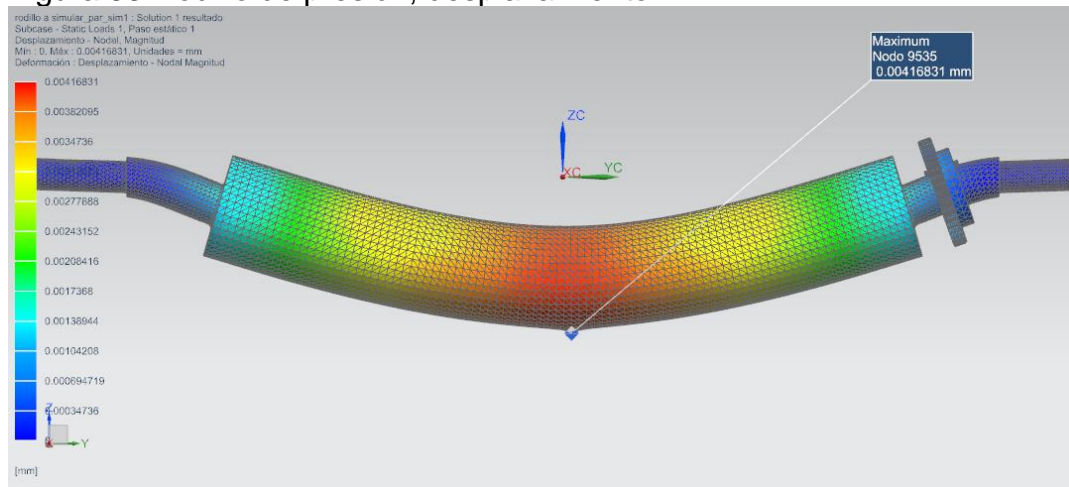
Figura 52. restricciones y cargas del rodillo de presión.



Fuente: elaboración propia.

Con lo anterior se obtiene un desplazamiento de: 0,004mm

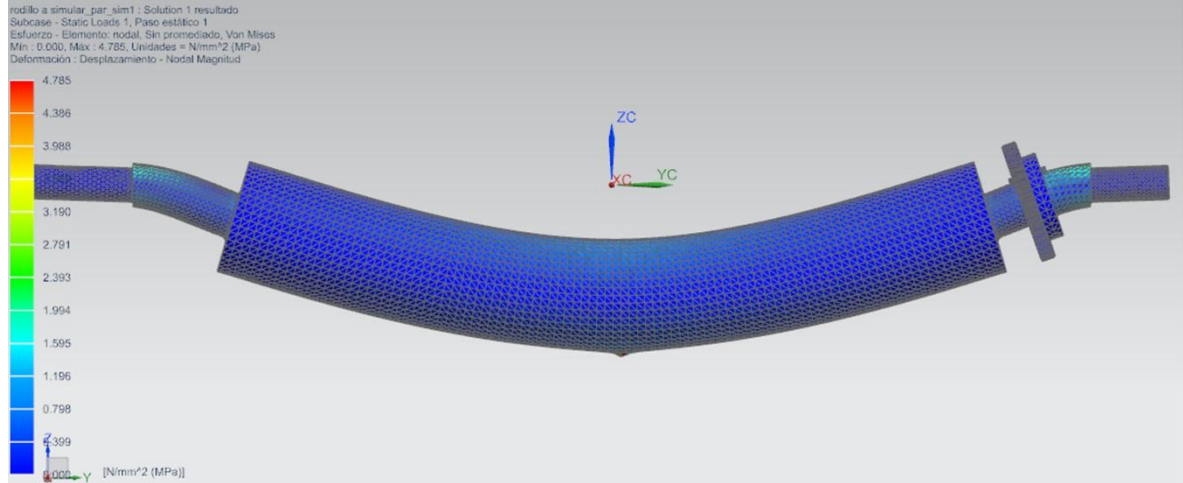
Figura 53. Rodillo de presión, desplazamiento



Desplazamiento 0,0041mm

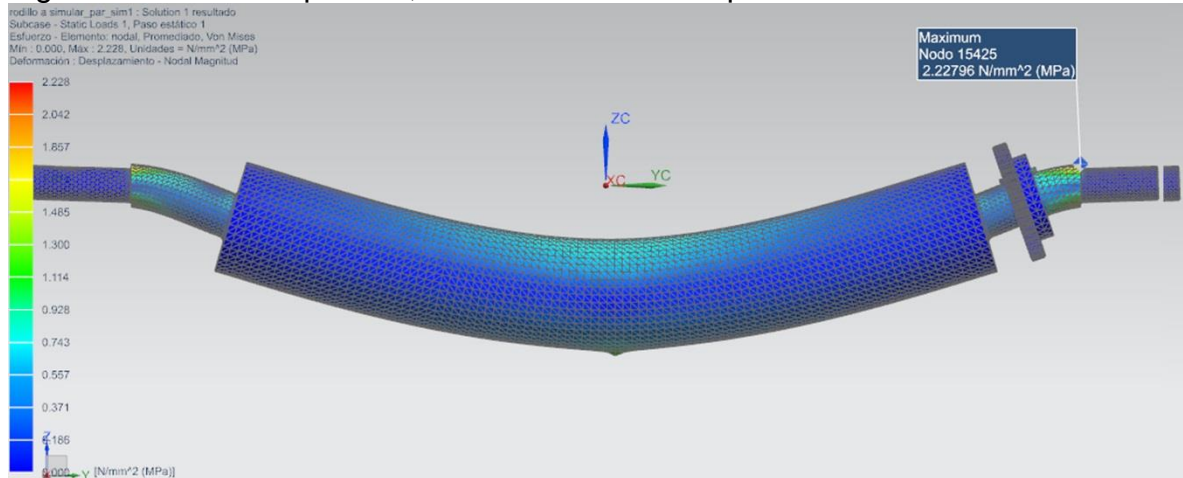
Fuente: elaboración propia.

Figura 54. Rodillo de presión, esfuerzo von mises.



Esfuerzo von mises= 4,785 MPa
 Fuente: elaboración propia.

Figura 55. Rodillo de presión, esfuerzo von mises promedio



Esfuerzo von mises promediado= 2,228 Mpa
 Fuente: elaboración propia.

Una vez se tiene el desplazamiento se debe aplicar la siguiente formula, la cual limita las deflexiones.

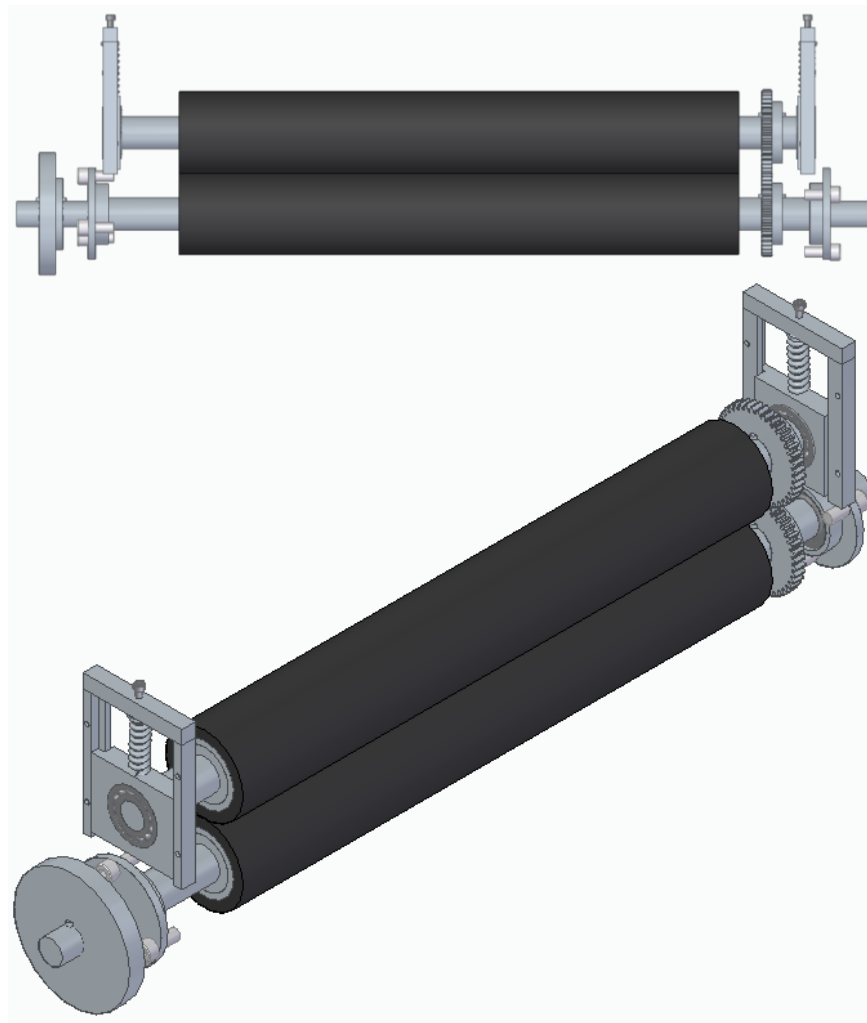
Ecuación 20. Deflexión máxima de la estructura.

$$Deflexion\ maxima = \frac{1}{360} * L = \frac{1}{360} * (700\ mm) = 1,94\ mm$$

Fuente: McCormac J. C. y Csernak S.F. Diseño de estructuras de acero. Alfaomega 5ª Edición. México. 2013. 313 p, ISBN: 978 607 707 559 2

Se compara el resultado anterior de 1,9 mm con el resultado arrojado por la simulación cuyo valor es de 0,004mm y se nota que el sistema es apropiado. Una vez se comprueba que el sistema es apto y no existe un desplazamiento significativo, se observa el sistema completamente ensamblado.

Figura 56. Ensamble del sistema de dosificación.



Fuente: elaboración propia.

4.2 SISTEMA DE POTENCIA.

El sistema de potencia es aquel que nos dará como resultado un movimiento cíclico, con las variaciones de medidas que se requieran gracias al sistema de control, para ello es necesario saber la velocidad con la que este tendrá movimiento, y el torque que realizara.

4.2.1 Sistema de transmisión.

Poleas. La selección del módulo de las poleas se especifica en la sección 4.2.3.

Polea del sistema de dosificación.

- Modulo: 5 mm
- numero de dientes: 76
- diámetro: 119,82 mm

Figura 57. Selección de Poleas sincrónicas.

Dientes	Diámetro exterior en milímetros			
	5M Paso 5mm	8M Paso 8mm	14M Paso 14m	20M Paso 20m
76	119,82	192,16	335,89	479,53

Fuente: catálogo de intermec. [Consultado el 5 de septiembre de 2019] disponible en: www.intermec.com.co/pdf/tabla_diametros_poleas_sincronicas.pdf

Polea del motor.

- modulo: 5mm
- numero de dientes: 45
- diámetro: 70,48 mm

Figura 58. Selección de Poleas sincrónicas del motor.

Dientes	Diámetro exterior en milímetros			
	5M Paso 5mm	8M Paso 8mm	14M Paso 14m	20M Paso 20m
45	70,48	113,22	197,74	282,18

Fuente: catálogo de intermec. [Consultado el 5 de septiembre de 2019] disponible en: www.intermec.com.co/pdf/tabla_diametros_poleas_sincronicas.pdf

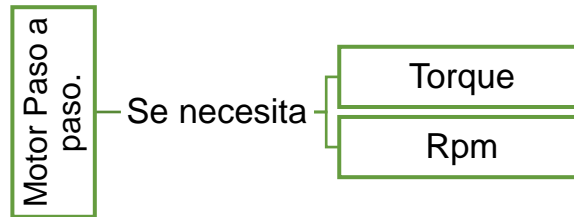
Ecuación 21. Relación de transmisión.

$$relación\ de\ transmisión = \frac{76\ dientes}{45\ dientes} = 1,68$$

Fuente: SHIGLEY. J.E. Teoría de máquinas y mecanismos. México. Mc Graw Hill 2001. 260 p. ISBN 0-07-056884-7

4.2.2 Selección del motor.

Diagrama 16. Variables necesarias para selección del motor.



Fuente: elaboración propia.

4.2.4.1 Torque del motor. Para la selección de los motores paso a paso se requiere principalmente el torque o fuerza a ejercer para esto se tomó el sistema más crítico analizando las tensiones generadas por los tres materiales empleados como materia prima (PET, PVC, PP). A continuación, se toma la menor tensión. Debido a que si se llegase a generar una tensión mayor otro material podría sufrir una deformación parmente afectando directamente a la calidad del producto.

Tabla 37. Parámetros críticos mínimos.

Situaciones críticas mínimas	
Calibre	5 milésimas de in= 0,005 in= 0,127 mm
Ancho	200mm
Numero de hojas	1

Fuente: elaboración propia.

σ_{Max} = El esfuerzo máximo es considerado como el esfuerzo de fluencia debido a que si el material pierde sus características geométricas al ser elongado o contraído en una de su dirección pierde la calidad.

Tabla 38. Esfuerzo de fluencia en materia prima.

Material	PET	PVC	PP	PEBD
Esfuerzo de fluencia (Mpa)	50	55	32,4	12,1

Fuente: elaboración propia.

Se debe tomar el caso más crítico, por lo cual se toma el valor menor que corresponde al PEBD, este material es adicionado el polipropileno en pequeña proporción por lo cual para el caso critico es tomado como valor de referencia.

$\sigma_{Max} = 12,1 \text{ Mpa.}$

Ecuación 22. Esfuerzo máximo.

$$\sigma_{max} = \frac{F_{axial}}{A_{transv.}}$$

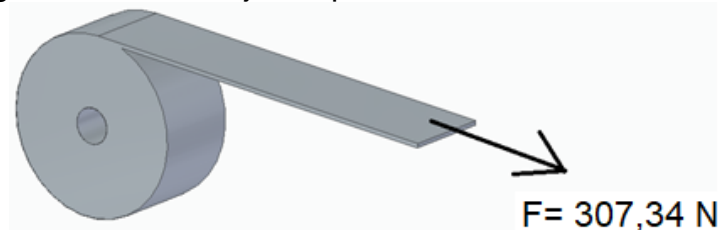
Fuente: SHIGLEY. J.E. Teoría de máquinas y mecanismos. México. Mc Graw Hill 2001. 84 p. ISBN 0-07-056884-7

$$A_{transv} = 200\text{mm} * 0,127\text{mm} * 1 \text{ laminas} = 25,4 \text{ mm}^2$$

Por lo tanto.

$$F_{PET} = \sigma_{max} * A_{transv.} = 12,1 \text{ Mpa} * 25,4 \text{ mm}^2 = 307,34 \text{ N.}$$

Figura 59. Fuerza ejercida por bobina



Fuente: elaboración propia. Septiembre de 2019. Bogotá D.C.

Según los requerimientos de la empresa se debe poner 2 bobinas a pesar de lo anterior se tomará una lámina debido a que la empresa no siempre trabajará con las dos bobinas, al ser el área de una sola lamina se debe producir menor fuerza. Según lo anterior, la fuerza que debe generar en condiciones mínimas críticas será:

$$F = 307,34 \text{ N}$$

Para saber el torque que la bobina genera se necesita el diámetro.

$$V = \frac{\pi}{4} * (D^2 - d^2) * L = \frac{m}{\rho}$$

$$D = \sqrt{\frac{4 * m}{\pi * \rho * L} + d^2} = \sqrt{\frac{4 * 50\,000 \text{ g}}{\pi * 0,85 \frac{\text{g}}{\text{cm}^2} * 25 \text{ cm}} + (10 \text{ cm})^2} = 55,64 \text{ cm}$$

Ecuación 23. Torque.

$$\tau = F * r = 307,34 \text{ N} * 0,2782 \text{ m} = 85,50 \text{ Nm}$$

Fuente: Ingeniería mecánica estática. HIBBELER. R.C. México. Pearson Educación. 2010 .118 p. ISBN. 978-607-442-561-1

El fuelle de rodillos tensores, no afectan la fuerza, su única función es evitar el brusco halado que puede generar el sistema de dosificación. Según lo anterior, la fuerza de 307,34 N es aquella entregada por una sola bobina y transmitida al sistema de dosificación. A partir de aquí, se realiza ingeniería inversa para así conocer el torque generado en el sistema y así poder seleccionar el motor.

$$F_{bobinas} = F_{rodillo\ motriz}$$

F rodillo motriz= 307,34 N
 Diámetro del eje= 0,08 m
 Radio del eje motriz= 0,04 m

$$\tau_{eje\ motriz} = F * r = 307,34 \text{ N} * 0,04 \text{ m} = 12,29 \text{ Nm}$$

$$\tau_{eje\ motriz} = \tau_{engrane}$$

τ engrane= 12,29 Nm
 Diámetro engrane= 0,1198 m
 Radio del engrane= 0, 059 m

$$F_{engrane} = \frac{\tau}{r} = \frac{12,29 \text{ Nm}}{0,059 \text{ m}} = 205,20 \text{ N}$$

$$F_{engrane\ corona} = F_{piñon}$$

F piñón= 205,20 N
 Diámetro piñón= 0,07048 m
 Radio piñón= 0,0352 m

$$\tau \text{ piñon motor} = F * r = 205,20 \text{ N} * 0,0352 \text{ m} = 7,23 \text{ Nm} = 723,12 \text{ N cm}$$

4.2.4.2 Velocidad angular (RPM). Según los requerimientos de la empresa se debe realizar el corte de 1000 Kg diarios, por lo que la máquina debe realizar 44 cortes/min. Teniendo en cuenta la sección 2.4.1.

Velocidad

Ecuación 24. Velocidad lineal de corte.

$$\begin{aligned} \text{velocidad} \left(\frac{m}{min} \right) &= \text{longitud} * \text{Tasa de corte} \\ &= 0,75m * 44 \text{ cortes/min} = 33 \frac{m}{min} * \frac{1min}{60seg} = 0,55 \frac{m}{seg} \end{aligned}$$

Fuente: elaboración propia.

Teniendo en cuenta el numeral anterior (4.1) el diámetro del eje motriz es de 0,08m. Se halla la velocidad a la que debería ir el eje motriz del sistema de dosificación, por lo que se tiene.

Ecuación 25. Velocidad angular.

$$V = \omega \times r \rightarrow \omega = \frac{v}{r}$$

Fuente: SHIGLEY. J.E. Teoría de máquinas y mecanismos. México D.F. Mc Graw Hill. 2001. 81 p. ISBN: 968- 451-297-x

$$\omega \text{ eje motriz} = \frac{0,55 \frac{m}{min}}{0,04 m} = 13,75 \frac{rad}{s} = 131,30 \text{ RPM}$$

Una vez obtenido la velocidad angular del eje motriz se procede a hallar la velocidad angular del motor.

Ecuación 26. Razón de las velocidades angulares.

$$\frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{r_2}{r_1}$$

Fuente: SHIGLEY. J.E. Teoría de máquinas y mecanismos. México D.F. Mc Graw Hill. 2001. 260 p. ISBN: 968- 451-297-x

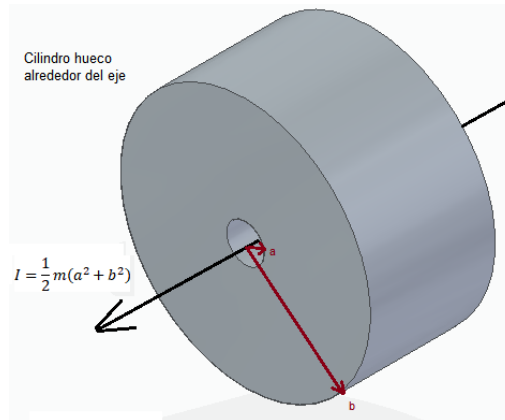
$$\omega_{motor} = 13,75 \text{ rpm} * 1,688 = 23,21 \frac{\text{rad}}{\text{s}} = \mathbf{221,64 \text{ RPM}}$$

Antes de seleccionar el motor se requiere conocer si la fuerza de 307,34 N es suficiente para el movimiento de la bobina, es por ello que se confirmara lo anterior al hallar la fuerza necesaria para romper la inercia. Inicialmente son necesarias las siguientes características de la bobina.

- Masa= m= 50 kg
- Radio interior= a= 76,2 mm
- Radio exterior= b= 500 mm

Se halla el momento de inercia tomando como un cilindro hueco.

Figura 60. Bobina a calcular momento de inercia.



Fuente: elaboración propia.

Ecuación 27. Momento de inercia.

$$I = \frac{1}{2} m(a^2 + b^2)$$

Fuente: HIBBELER. R. C. Ingeniería mecánica estática. Pearson Educación. México. 2010. 547 p. ISBN: 978 607 442 561 - 1

$$I = \frac{1}{2} (50 \text{ kg}) ((3,81 \text{ cm})^2 + (25 \text{ cm})^2) = 15987,9 \text{ kg cm}^2 * \frac{1\text{m}^2}{(100\text{cm})^2} = 1,598 \text{ kg m}^2$$

Al rotar el sistema se genera una fuerza tangencial,

$$Ft = m a_t$$

$$Ft = m(r \alpha)$$

En la mecánica rotacional, el torque toma el lugar de la fuerza. Se multiplica a ambos lados por el radio.

$$Ft * r = m(r \alpha) * r$$

$$T = m r^2 \alpha$$

$$T = I \alpha$$

Se halla la aceleración angular. Y él torque.

$$\alpha = \omega^2 = \left(1,997 \frac{rad}{s}\right)^2 = 3,988 \frac{rad}{s^2}$$

$$T = I \alpha = 1,598 kg m^2 * 3,988 \frac{rad}{s^2} = 6,3728 N m$$

Se procede a hallar la fuerza.

$$T = F x r$$

$$F = \frac{T}{r} = \frac{6,3728 Nm}{0,25m} = 25,4912 N$$

Una vez se confirma que la fuerza necesaria es de 25,5 N y la máxima fuerza antes de la deformación plástica es 307,34 N se procede a la selección del motor.

4.2.2.3. Selección del motor. El funcionamiento de estos motores consiste en la conversión de pulsos en movimientos angulares, dependiendo de la tarjeta driver se da el avance en grados para asimismo dar avance a la lámina. Como se dijo con anterioridad este tipo de motores se seleccionan con respecto al torque.

Para dicha función se ha seleccionado el motor de la empresa JKONGMOTOR CO, teniendo en cuenta que el torque obtiene es de 7,23 Nm, se debe seleccionar un motor con la potencia nominal siguiente superior por lo cual se seleccionó el motor

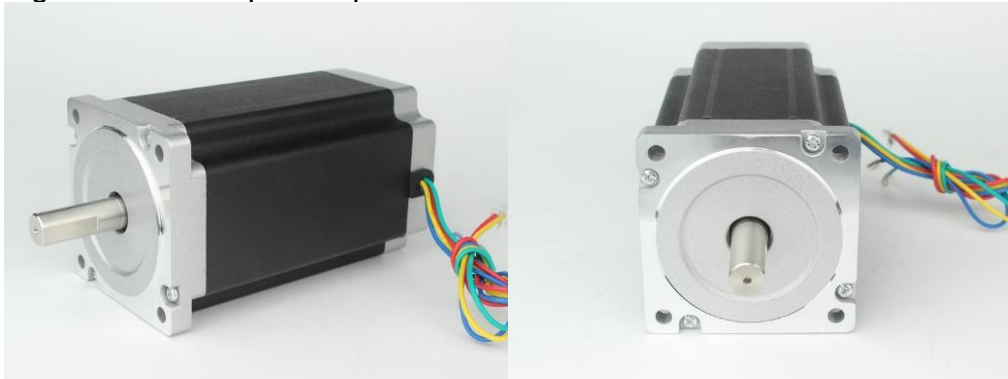
con las siguientes características. Para observar las dimensiones del motor seleccionado observar el ANEXO A

Tabla 39. Características del motor Paso a paso. JK2M2283

Número de Modelo:	JK86H115-6004
Ángulo de Paso (Grados):	1.8
Par:	8.7N.m
Fase:	2
Tipo:	Híbrido
Actual / Fase:	6.0A
Certificación:	CCC, CE, ISO, Rohs, Testado en el laboratorio
Tensión:	Customized
Uso:	Automático industria
Forma:	Cuadrado
Peso:	3.8 kg
Resistencia:	0.6

Fuente: jkongmotor. [Sitio web] Shanghai. 2019. [Consultado el: 9 de octubre de 2019] consultado en: <https://jkongmotor.en.made-in-china.com/product/xBvmrRNPJuhL/China-2-Phase-Hybrid-Stepper-Motors-NEMA341-8-Degree-JK86HS115-6004.html>

Figura 61. Motor paso a paso seleccionado JK86H115-6004.



Especificaciones eléctricas.

Model No.	Step Angle	Motor Length	Current /Phase	Resistance /Phase	Inductance /Phase	Holding Torque	Lead wires	Detent Torque	Rotor Inertia	Motor Weight
	(°)	(L)mm	A	Ω	mH	N.m	No.	Kg.cm	g.cm	Kg
JK86H115-6004	1.8	115	6	0.6	6.5	8.7	4	2.4	2700	3.8

Fuente: JKONGMOTOR CO Ltda. [Sitio web] Changzhou, China. 2019. [consultado el 4/ octubre de 2019]. Disponible en: www.jkongmotor.com/product/86HS-NEMA34-2Phase-Stepper-Motor-1-8%C2%B0.html

Tabla 40. Especificaciones del motor.

Especificación general:	
Precisión de paso	± 5%
precisión de resistencia	± 10%
precisión de inductancia	± 20%
aumento de temperatura	80 ° C MÁX.
Rango de temperatura ambiente	-20 ° C ~ + 50 ° C
Rango de temperatura de almacenamiento	-30 ° C ~ + 60 ° C
Resistencia de aislamiento dieléctrica	100M Ω MIN. 500V DC Rigidez 500V AC 1min
Juego radial	0.02mm MAX. (450 g de carga)
Juego final	0.08 mm MAX. (450 g de carga)
Máx. fuerza radial	220N
Máx. fuerza axial	60N

Fuente: JKONGMOTOR CO Ltda. [Sitio web] Changzhou, China. 2019. [consultado el 4/ octubre de 2019]. Disponible en: www.jkongmotor.com/product/86HS-NEMA34-2Phase-Stepper-Motor-1-8%C2%B0.html

Dentro de las especificaciones del motor mostradas en la tabla anterior, se pueden observar las fuerzas máximas radiales y axiales. En el diseño de la maquina cortadora no se presenta fuerza axial, pero si fuerza radial, la cual según los parámetros de la maquina no supera los requerimientos o parámetros de funcionamiento del motor.

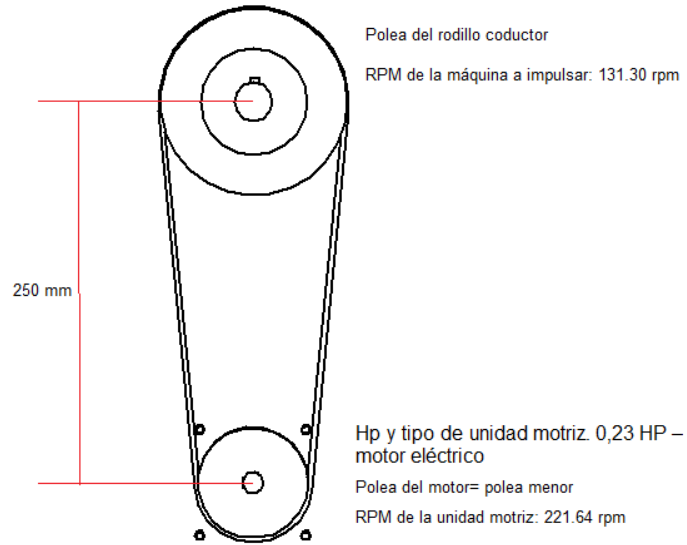
Teniendo en cuenta la sección 4.2.2.1 la fuerza es de 205,1 N comprado con la fuerza máxima del motor que es de 220 N, este motor es apto.

4.2.3 Selección de la correa.

1. Reunir la información básica.

- Hp y tipo de unidad motriz. 0,23 HP – motor eléctrico
- RPM de la unidad motriz: 221.64 rpm
- RPM de la máquina a impulsar: 131.30 rpm
- Diámetros de los ejes y dimensión de los cuñeros. 1 in – ¼ x 1/4
- Distancia entre centros de los ejes. 250 mm
- Tipo de equipo a impulsar. Máquina cortadora

Diagrama 17. Sistema de potencia.



Fuente: elaboración propia.

2. Potencia de diseño

Ecuación 28. Potencia del motor.

$$P = \tau * \omega = 7,23 \text{ Nm} * 23.21 \frac{\text{rad}}{\text{s}} = 167,81 \text{ w} * \frac{1\text{hp}}{745,7\text{w}} = 0,23 \text{ Hp}$$

Fuente: BUDYNAS. R.G. Diseño en ingeniería mecánica de Shigley. Mexico D.F. Mc Graw Hill. 2008. 96 p. ISBN: 970-10-6404-6

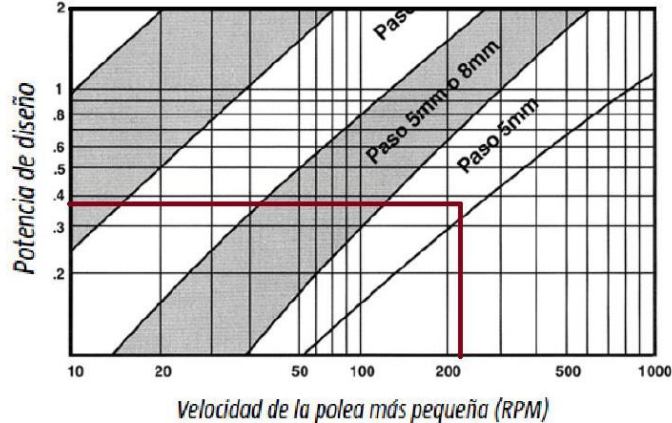
Ecuación 29. Potencia de diseño.

$$P_{\text{diseño}} = P * \text{Factor} = 0.23 \text{ HP} * 1,7 = 0,38 \text{ HP}$$

Fuente: catálogo de intermec. [Consultado: 5 de septiembre de 2019] disponible en: forums.autodesk.com/autodesk/attachments/autodesk/323/2922/1/manual_poleas_dentadas_intermec.pdf

3. Elegir paso de la correa: 5 mm respecto a la figura 61.

Diagrama 18. Selección del paso de la correa.



Fuente: catálogo de intermec. [Consultado: 5 de septiembre de 2019] disponible en: forums.autodesk.com/autodesk/attachments/autodesk/323/2922/1/manual_poleas_dentadas_intermec.pdf

4. Longitud correa: para el cálculo de la longitud de correas especiales no estandarizados, se hace el uso de la siguiente fórmula.

Ecuación 30. Longitud correa no estandarizada en Intermec

$$Lp = 2C + 1,57 (D + d) + \frac{(D - d)^2}{4C}$$

Fuente: catálogo de intermec. [Consultado: 5/septiembre/2019] disponible en: forums.autodesk.com/autodesk/attachments/autodesk/323/2922/1/manual_poleas_dentadas_intermec.pdf

Donde:

- Lp: largo de la correa en pulgadas
- D: Diámetro de la polea mayor en pulgadas: 119,82 mm = 4,71 in
- d: Diámetro de la polea menor en pulgadas: 70,48mm = 2,77 in
- C: Distancia entre centro en pulgadas: 250 mm = 9,84 in

$$Lp = 2(9,84 \text{ in}) + 1,57 (4,71 \text{ in} + 2,77 \text{ in}) + \frac{(4,71 \text{ in} - 2,77 \text{ in})^2}{4 * (9,84 \text{ in})} = 31,52 \text{ in} = 800,71 \text{ in}$$

5. Ancho de la correa. Teniendo en cuenta los RPM de la polea menor y el número de dientes, en la Figura 62. hay que cruzar y mirar la potencia, la potencia del sistema debe ser menor a la potencia mostrada en la siguiente tabla, debido a que si es de forma contraria significaría que la correa no resiste dicha potencia. En este caso el ancho de la correa es de 15 mm.

Tabla 41. Capacidad de transmisión con correa 5m de ancho 15 mm

RANGO DE HP — 15mm (.91 pulg.) n (.91 pulg.) ancho de correa (5M-15)				
No. de Dientes		40	44	48
D.P.		63.66	70.03	76.39
mm in.		2.506	2.757	3.008
RPM DE LA POLEA MENOR	10	0.022	0.025	0.028
	20	0.044	0.050	0.057
	40	0.088	0.100	0.114
	60	0.132	0.150	0.170
	100	0.219	0.251	0.284
	200	0.439	0.502	0.568
	300	0.588	0.670	0.757
	400	0.723	0.823	0.927

Fuente: catálogo de intermec. [Consultado: 5 de septiembre de 2019] disponible en: forums.autodesk.com/autodesk/attachments/autodesk/323/2922/1/manual_poleas_dentadas_intermec.pdf

Figura 62. Correa sincrónica seleccionada.

CORREAS 5M (PASO 5mm)

Referencia	No. de Dientes	Longitud [mm]	Pulg.
800-5M-15	160	800	31,50

Fuente: catálogo de intermec. [Consultado el 5 de septiembre de 2019] disponible en: https://www.intermec.com.co/pdf/correas_sincronicas.pdf

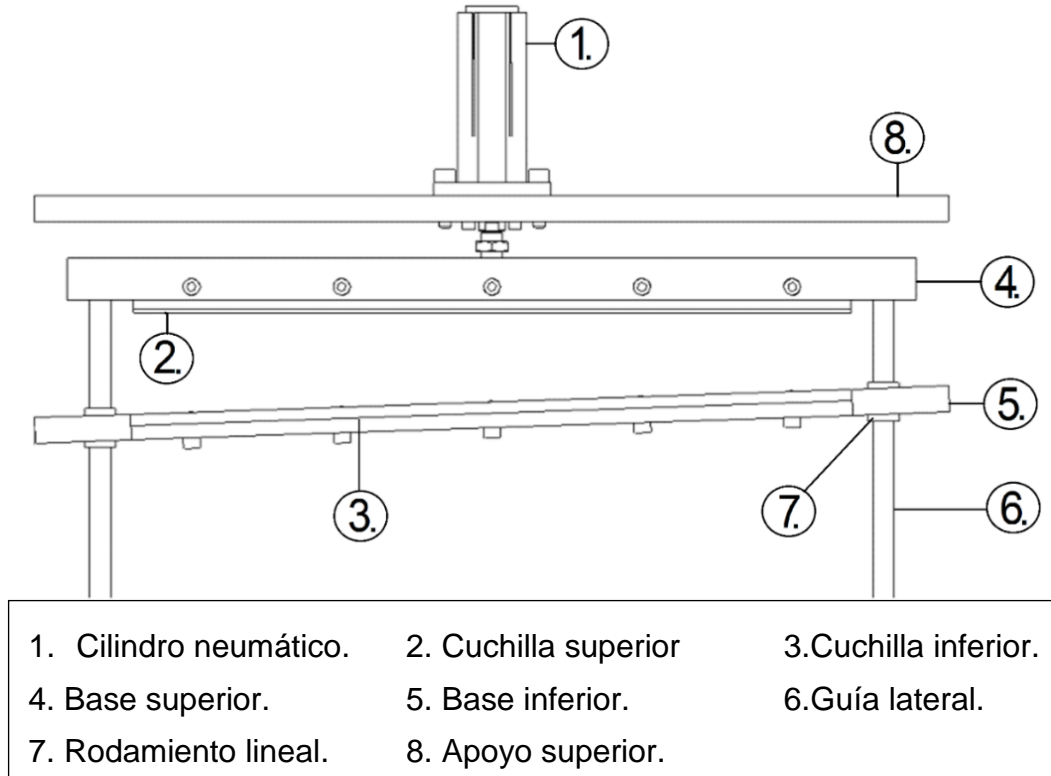
Referencia (800 – 5M- 15)

- 800= longitud en milímetros = 800 mm
- 5M= Código del paso 5M = 5mm
- 15= Ancho en la correa= 9mm

4.3 SISTEMA DE CORTE

El sistema de corte es el sistema con mayor importancia para la máquina, para este sistema, se hará el uso de una guillotina con sistema electroneumático, este sistema ayudará a dar solución a los problemas relacionados con la calidad al realizar un corte recto, además de reducir los riesgos de enfermedades laborales causados por movimientos repetitivos.

Figura 63. Sistema de corte por guillotina electroneumática.



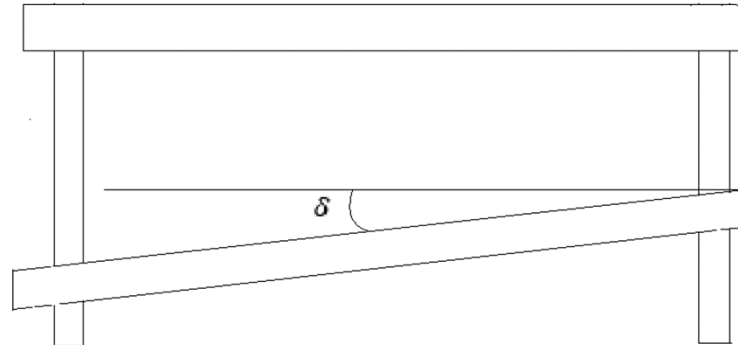
Fuente: elaboración propia.

El sistema de corte más adecuado para nuestra máquina consiste en la guillotina neumática. El cilindro debe generar una fuerza superior a la fuerza de la resistencia al corte del PET, PVC y PP (materia prima de la empresa), según lo dicho anteriormente debe ser mayor a 205, 3 N teniendo en cuenta el caso más crítico el cual representa a la mayor resistencia a continuación.

4.3.1 Fuerza de corte.

Al igual que en casos anteriores se toman situaciones críticas en este caso el calibre de la lámina tomado será el mayor trabajado en la empresa; calibre 7, el ancho será el ancho de 25 cm. Adicionalmente se tomará el caso donde se tienen dos laminas.

Figura 64. Esquema de cuchillas de corte.



Fuente: elaboración propia

Ecuación 31. La fuerza para el corte con cuchillas paralelas.

$$F = K * h * S' * \tau$$

Fuente: Cárdenas, V. Conformado Mecánico I. Quito. 2009.

Ecuación 32. Longitud cortada.

$$S' = \frac{h}{\tan \delta} \rightarrow S' = \frac{0,3556 \text{ mm}}{\tan(2^\circ)} = 10,1830 \text{ mm}$$

Fuente: Cárdenas, V. Conformado Mecánico I. Quito. 2009.

Donde:

- F= fuerza de corte.
- K= 0,7
- h= espesor= 0,3556 mm
- δ = ángulo entre cuchillas= 2°
- τ = Resistencia al cizallamiento= σ_u = 81 Mpa.

Tabla 42. Esfuerzo último.

Material	PET	PVC	PP
Resistencia ultima (Mpa)	81	80	40

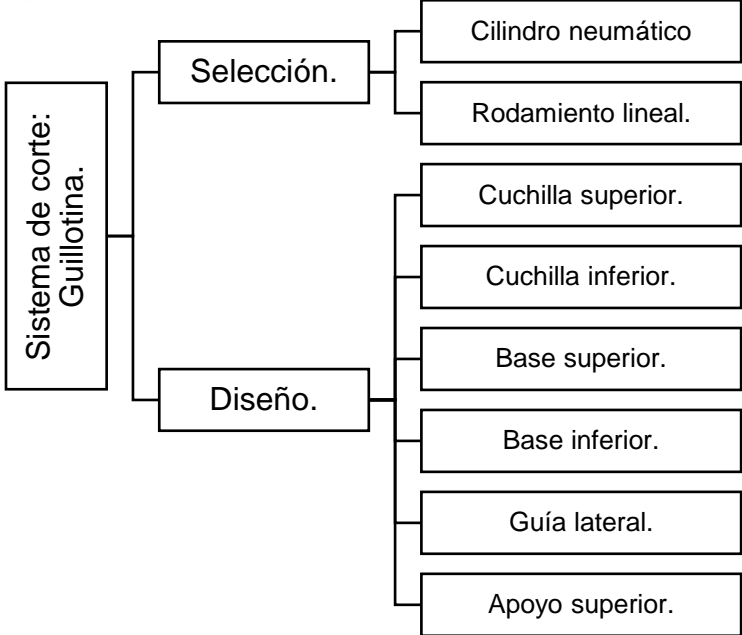
Fuente: elaboración propia. Basado en información del capítulo 1.

Aplicando la ecuación 32.

$$F = 0,7 * 0,3556\text{mm} * 10,1830\text{mm} * 1 \frac{\text{m}^2}{(1000\text{mm})^2} * 81\,000\,000 \text{ Pa} = 205,315 \text{ N}$$

Una vez obtenida la fuerza necesaria para el corte se debe garantizar el correcto funcionamiento de la guillotina, para ello se deben diseñar y/o seleccionar elementos que soporten y guíen la cuchilla entre los componentes los principales son: el cilindro neumático, rodamiento, banco o base, cuchilla superior e inferior y guías laterales. A continuación, se pueden encontrar en el diagrama 15, los diferentes elementos clasificados según si se seleccionan o diseñan, teniendo en cuenta que el ancho de las cuchillas es igual al ancho de trabajo, es decir, 550 mm definido en la sección 4.

Diagrama 19. Sistema de corte, elementos principales.



Fuente: elaboración propia.

- Selección.

5.3.3 Cilindro neumático.

De la empresa Arvax Air & vacuum express se cotizo el siguiente cilindro neumático:

Referencia

- Diámetro:40 mm

- Carrera: 150 mm
- Norma: ISO 15552
- Tipo: Doble efecto.
- Fluido: aire comprimido
- Presión: 8 bar

Para comprobar que el cilindro cumple con esas características se debe comprobar que la fuerza que ejerce sea mayor a la calculada anteriormente.

- Diámetro del pistón = $D_{\text{pistón}} = 40\text{mm} = 0,04\text{ m}$
- Presión de operación = $P_{\text{operación}} = 8\text{ Bar} = 800.000\text{ Pa} = 800.000\text{ N/m}^2$

Fuerza teórica.

Ecuación 33. Fuerza teórica que ejerce el pistón.

$$F_{\text{teórica}} = P_{\text{operación}} * A = P_{\text{operación}} * \frac{\pi}{4} * (D_{\text{pistón}})^2 = 800.000 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} * \frac{\pi}{4} * (0,04\text{m})^2 = 1005,31\text{ N}$$

Fuente: P. Croser. Pneumatics – level basic. Festo. Denkendorf. Alemania. 2002

Para hallar la fuerza real que se ejerce, “la fuerza generada más importante es la fuerza efectiva, para el cálculo de esta fuerza se debe tener en cuenta la fuerza de fricción, en operaciones normales, las cuales son consideradas como (rango de presión de 4 a 8 Bar) la fuerza de fricción es aproximadamente el 10% de la fuerza teórica”⁴⁴

Ecuación 34. Fuerza de fricción en operaciones normales.

$$F_r = 1005,31\text{ N} * 10\% = 100,531\text{ N}$$

Fuente: P. Croser. Pneumatics – level basic. Festo. Denkendorf. Alemania. 2002

Ecuación 35. Fuerza real de avance.

$$F_{\text{avance}} = (P_{\text{operación}} * A) - (F_r) = (P_{\text{operación}} * \frac{\pi}{4} * (D_{\text{pistón}})^2) - F_r$$

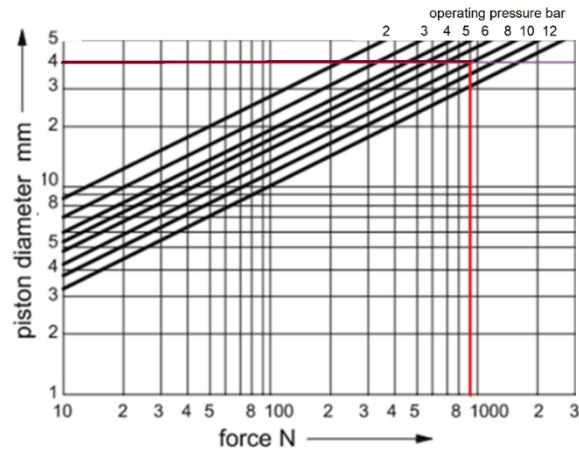
$$F_{\text{avance}} = 1005,31\text{N} - 100,531\text{ N} = 904,7786\text{ N}$$

Fuente: P. Croser. Pneumatics – level basic. Festo. Denkendorf. Alemania. 2002

⁴⁴ P. Croser. Pneumatics – level basic. Festo. Denkendorf. Alemania. 2002].

Para comprobación de los resultados se observa el método grafico el cual nos da un valor de 900 N.

Diagrama 20. Método grafico de la fuerza del pistón



Fuente: P. Croser. Pneumatics – level basic. Festo. Denkendorf. Alemania. 2002

4.2.4.3 Accesorios del sistema neumático. Para la sujeción del cilindro neumático se hace necesario el empleo de un flanche; para esto la empresa nos proporciona el siguiente, dimensiones se pueden encontrar en el anexo B.

Figura 65. Flanche



Fuente: Cotización Arvax Air & vacuum express. Bogotá. 2019.

Tabla 43. Accesorios neumáticos.

Accesorios Neumáticos.	
Válvula de botón 5/2 de 1/4", regreso resorte.	
Unidad de mantenimiento 1/4"	
Control de flujo en codo de 8mm x 1/4"	
Acople rápido recto de 8mm OD x 1/4"	
Silenciador de bronce de 1/4"	
Manguera poliuretano de 8mm OD	

Fuente: elaboración propia, Basado en: Cotización Arvax Air & vacuum express. Bogotá. 2019.

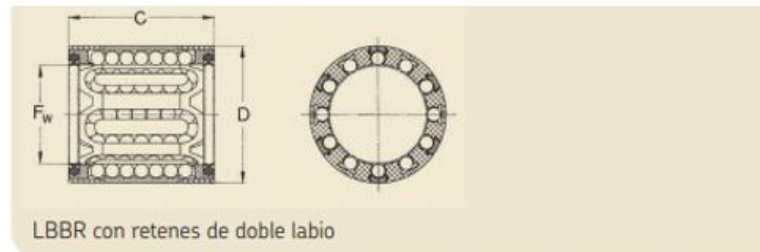
Rodamientos. Para esta sección se necesitan rodamientos lineales, ideales para el control del sentido del movimiento, su función será principalmente en las guías laterales de la chuchilla superior. Los rodamientos lineales están diseñados para soportar cargas, en aplicaciones como tornos CNC, en este caso no se aplicarán cargas, por lo que su selección se basará en las dimensiones disponibles, y dimensiones del eje guía.

Existen dos tipos de rodamientos lineales: de bolas y de agujas. Los rodamientos de bolas lineales son diseñados para recibir menores cargas a comparación del tipo agujas. Al no tener cargas de gran magnitud se seleccionará el tipo bola lineal.

Criterios

- Rodamientos lineales a bolas LBBR.
- Norma: ISO 10285.
- Diámetro interior: 24 mm
- Diámetro exterior: 16 mm
- Longitud: 30 mm

Figura 66. Catalogo y selección de rodamientos lineales a bolas para ejes -LBBR



Dimensiones	Núm. De hileras de bolas	Cargas básicas nominales		Masa	Designaciones		
		din. C	est. C ₀				
F _w	D	C			Rodamientos lineales a bolas diseño estándar		
mm	—	N		kg	—		
16	24	30	5	930	630	0,018	LBBR 16

Fuente: Catalogo SKF, Unidades y rodamientos lineales para ejes. prelubricados de fábrica SKF. [sitio web]. Suecia. Grupo skf. 2011. [Consultado el: 9 de septiembre de 2019]. Disponible en: <https://www.skf.com/binary/tcm:12-68770/4182ES/index.html>

- Diseño.

5.3.4 Elementos estructurales del sistema

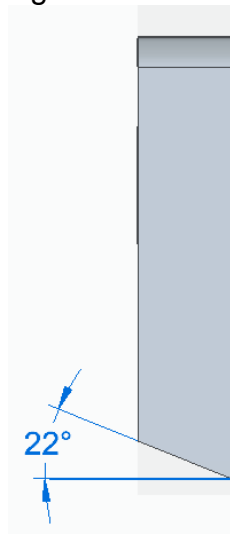
4.3.2.1 Cuchillas. Para el diseño en esta sección las cuchillas estarán fabricadas en XW10, material explicado en la sección 1.1.1.2. (materiales de cuchillas de corte). La cuchilla inferior debe permanecer fija, el ángulo usado por lo general es de 90°.

La cuchilla superior por lo general es la cuchilla móvil, para la fabricación de esta cuchilla se ajustan ángulos para reducir la fuerza necesaria. Entre los ángulos necesarios se requiere:

Angulo de cizallamiento. “en el mercado todas las cuchillas para papel serán de un bisel de 22°, en ocasiones para calidad de corte se requiere un bisel diferente o un doble bisel, adicionalmente puede mejorar el corte y vida útil de la cuchilla” ⁴⁵

En nuestro caso la empresa Fassco propone un ángulo de 22° para cualquier tipo de plástico al ser laminas delgadas flexibles.

Figura 67. Angulo de cizallamiento.



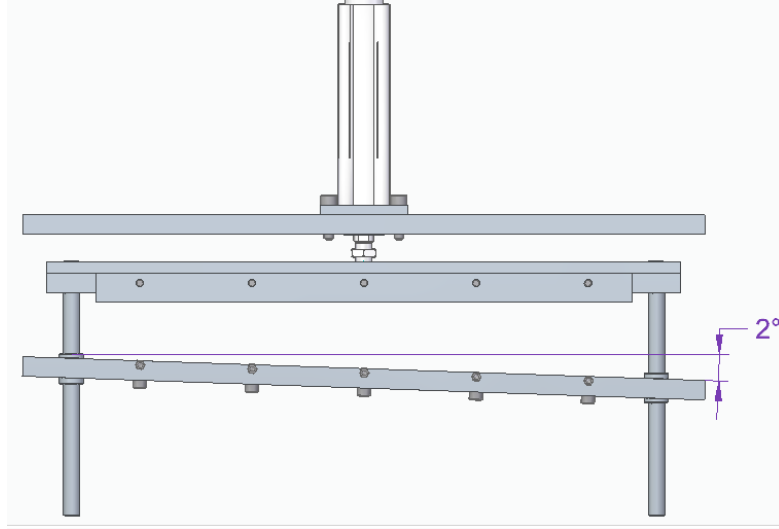
Fuente: elaboración propia.

Angulo de corte. “Tiene un fuerte impacto en la fuerza de corte y puede causar distorsión en tiras delgadas. Está indicado en la dirección horizontal y suele ser menor de 3°” ⁴⁶. Para el diseño de la cuchilla se tomará un ángulo de 2° a criterio propio

⁴⁵ FASSCO. Recomendaciones de ángulos de bisel para cuchillas guillotinas. [Sitio web] Alemania. Fassco. 2019. [Consultado el: 17 de septiembre de 2019] Disponible en: <http://www.fassco.de/es/service/schnittwinkel-fuer-papierschneidmesser.html>

⁴⁶Gasparini Industries S.r.l., Elimina los defectos de cizallamiento en 4 pasos. [Sitio web]. Italia. 23 noviembre de 2017. [Consultado el: 17 de septiembre de 2019] Disponible en: <https://www.gasparini.com/es/blog/elimina-los-defectos-de-cizallamiento-en-4-pasos/>

Figura 68. Angulo de corte.

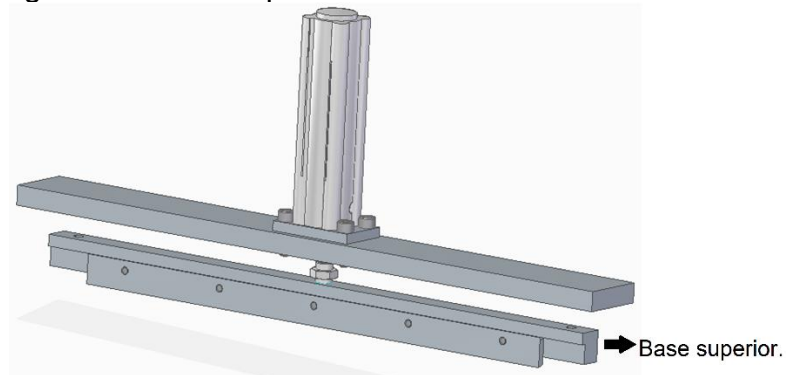


Fuente: elaboración propia.

4.3.2.2 Base. Es el conjunto estructural que mantiene la cuchilla en la posición correcta, también llamado porta cuchillas.

La base superior. Es aquella encargada de sujetar la cuchilla al cilindro neumático. Está representado de la siguiente manera.

Figura 69. Base superior.



Fuente: elaboración propia.

Base inferior. Consiste en una placa acoplada al bastidor, Posee un ancho de 700 mm y un el espacio para la cuchilla inferior de 550 mm. En esta base se acoplan rodamientos lineales seleccionados anteriormente.

Para que la cuchilla tenga permanentemente un recorrido seguro se han añadido en los extremos unas guías laterales.

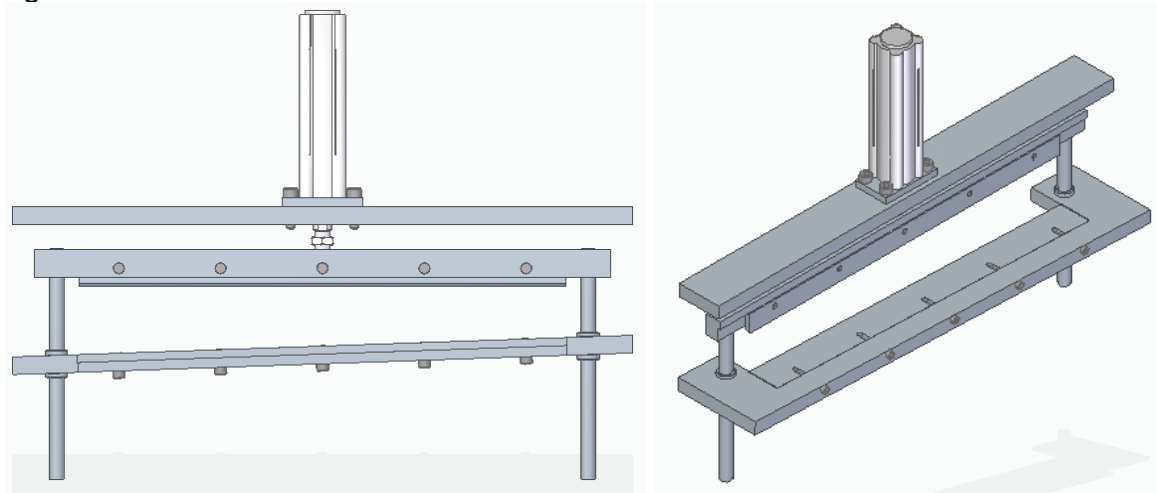
4.3.2.3 Guía lateral. Consiste en dos ejes macizos soldados a la base superior estos ejes tiene como función principal guiar el recorrido de la cuchilla sin que esta se desvíe al momento de accionar el pistón o cilindro neumático. Sus dimensiones son:

- Diámetro: 16 mm
- Largo: 160 mm

5.3.5 Ensamble del sistema. Al ensamblar el sistema se obtienen dos secciones, la sección superior, compuesta principalmente por el cilindro neumático, Flanche, cuchilla superior, base superior, y guías laterales. La sección inferior consiste en rodamientos lineales, cuchilla y base inferior.

Para el montaje de este sistema se tiene previsto una distancia entre sección de 8 cm los cuales servirán para el recorrido del pistón.

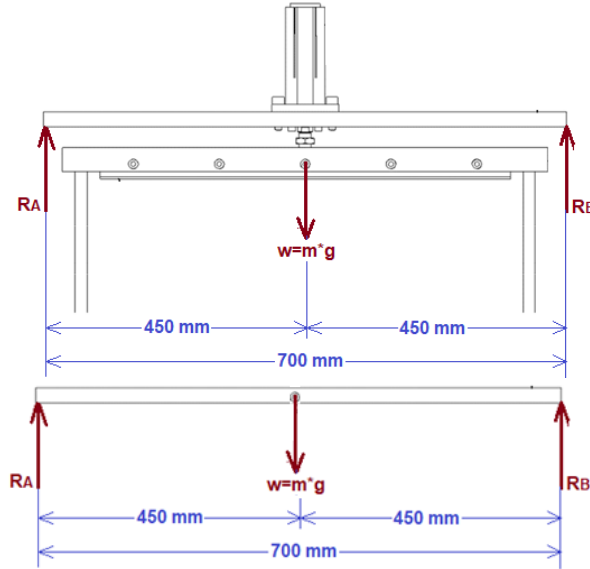
Figura 70. Ensamble del sistema de corte.



Fuente: elaboración propia.

Simulación. Para iniciar se va a calcular el peso del sistema de corte superior, debido a que es el sistema que más deformación puede presentar por el peso generado por el sistema. En caso de presentar una deformación sobre el límite o muy cercana a esta, se procederá a calcular el sistema inferior, el cual posee menos elementos por lo tanto menor peso y menor desplazamiento

Figura 71. Diagrama de cuerpo de la base.



Fuente: elaboración propia.

Tabla 44. Masa de la base.

Base	
Material	H. R
Largo	700 mm
Ancho	70 mm
Alto	20 mm
Volumen	$v = L * A * Al = 70 \text{ cm} * 7 \text{ cm} * 2 \text{ cm} = 980 \text{ cm}^3$
Peso	0,00785 kg/cm ³
Masa	$m = \rho * v = \frac{\text{kg}}{\text{cm}^3} * 980 \text{ cm}^3 = 7,7 \text{ kg}$

Fuente: elaboración propia.

Tabla 45. Masa del portacuchilla.

Porta cuchillas	
Material	H.R
Largo	650 mm
Ancho	25,4 mm
Alto	31,75 mm
Volumen	$v = L * A * Al = 65 \text{ cm} * 2,54 \text{ cm} * 3,175 \text{ cm} = 524,2 \text{ cm}^3$
Densidad	0,00785 kg/cm ³
Masa	$m = \rho * v = \frac{0,00785 \text{ kg}}{\text{cm}^3} * 524,2 \text{ cm}^3 = 4,115 \text{ kg}$

Fuente: elaboración propia.

Tabla 46. Masa de la guía lateral.

Guía lateral	
Material	AISI - SAE 1018
Diámetro	16 mm
Longitud	160 mm
Volumen	$v = \frac{\pi}{4} * D^2 * L = \frac{\pi}{4} * (1,6cm)^2 * 16 cm = 32,2 cm^3$
Densidad	7,87 g/cm ³
Masa	$m = \rho * v = \frac{7,87g}{cm^3} * 32,2 cm^3 = 253 g = 0,253 kg$

Fuente: elaboración propia.

Cuchilla superior. Se halla por medio de una calcula que se encuentra en la empresa Axxecol.

Figura 72. Calculadora de peso de Axxecol.

Fuente: Axxecol. [En línea]. 2019. Bogotá D.C. [Consultado el 5 de diciembre de 2019] Disponible en: <http://www.axxecol.com/Calculadora.html>

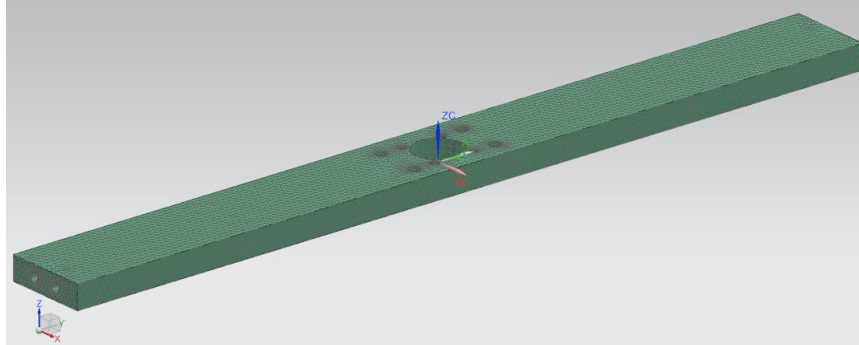
Tabla 47. Peso total del sistema de corte.

Peso total	
Base	7,7 kg
porta	4,115 kg
cuchilla	
Guía lateral	0,253 kg * 2 = 0,506 kg
Cuchilla.	0,822 kg
Total, masa	13,2 kg
Peso	$w = m * g = 13,2 kg * 9,81 \frac{m}{s^2} = 128,94 N$

Fuente: elaboración propia.

Una vez se tiene el peso del sistema, se procede a realizar la simulación en NX 12. Donde inicialmente se asigna una malla de 2mm. Como se muestra en la siguiente imagen.

Figura 73. Malla de la placa base del sistema de corte superior.



Fuente: elaboración propia.

Tabla 48. Información sobre la malla de la base del sistema de corte superior.

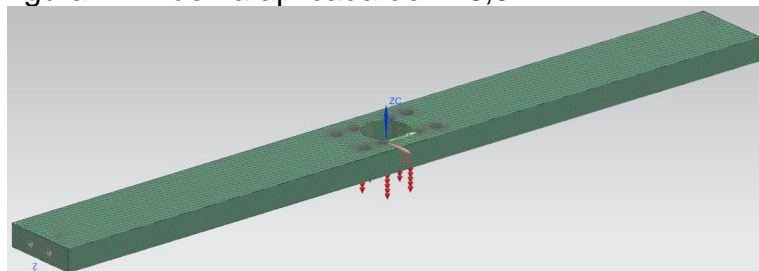
Información sobre la malla.	
Tipo de malla	3D
Números de elementos de la malla	49867
Numero de nodos en la malla	12040

Fuente: elaboración propia. Basado en la información proporcionada por NX 12.

A continuación, se aplican las cargas, y restricciones.

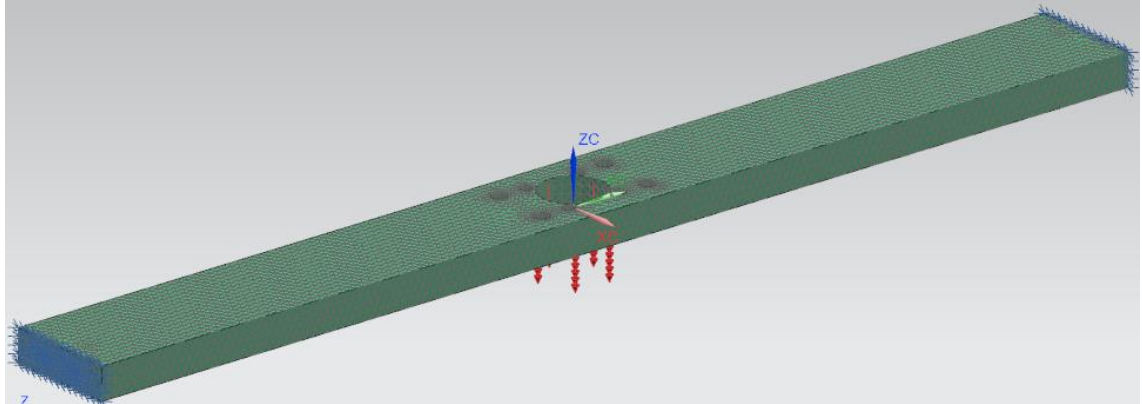
- Restricciones. Se aplican restricciones fijas tanto de desplazamiento como de rotación, en los extremos de la placa. Como se muestran en la figura 81.
- Cargas. En este caso es el peso que generan los elementos, y se sitúa dónde va ubicado el cilindro neumático con una fuerza de 128,94 N.

Figura 74. Fuerza aplicada de 128,94 N



Fuente: elaboración propia.

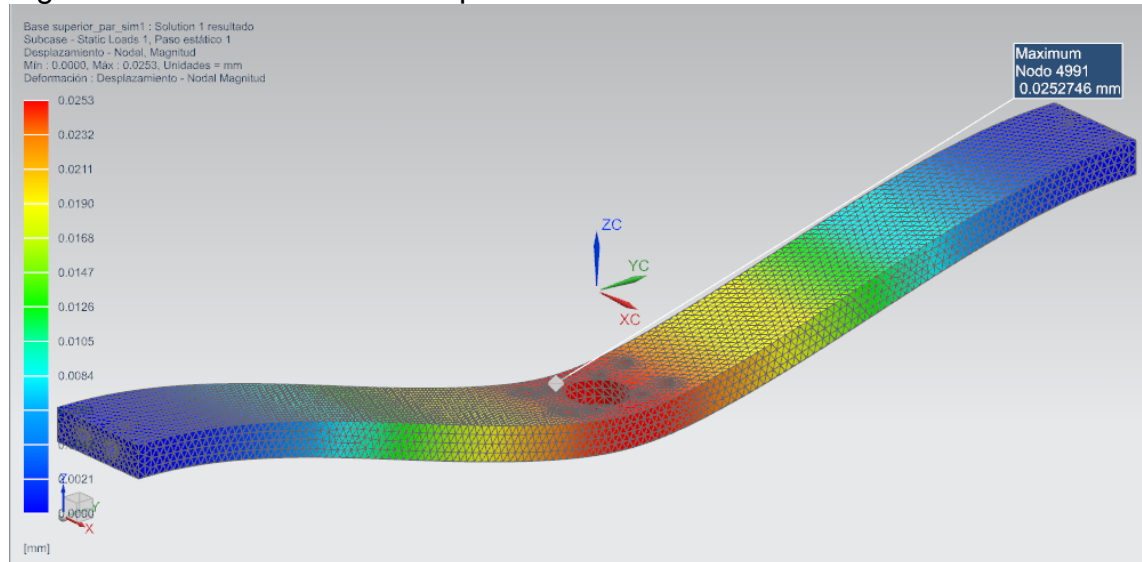
Figura 75. Restricciones de desplazamiento.



Fuente: elaboración propia.

Se procede a dar solución al problema y se tiene como resultado un desplazamiento de 0,0253 mm

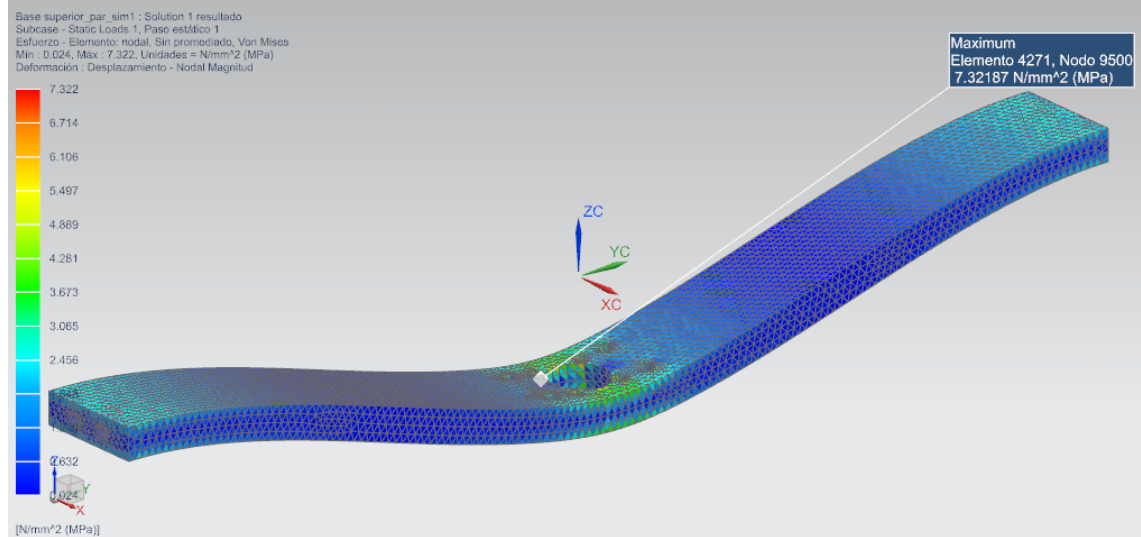
Figura 76. Restricciones de desplazamiento.



Fuente: elaboración propia.

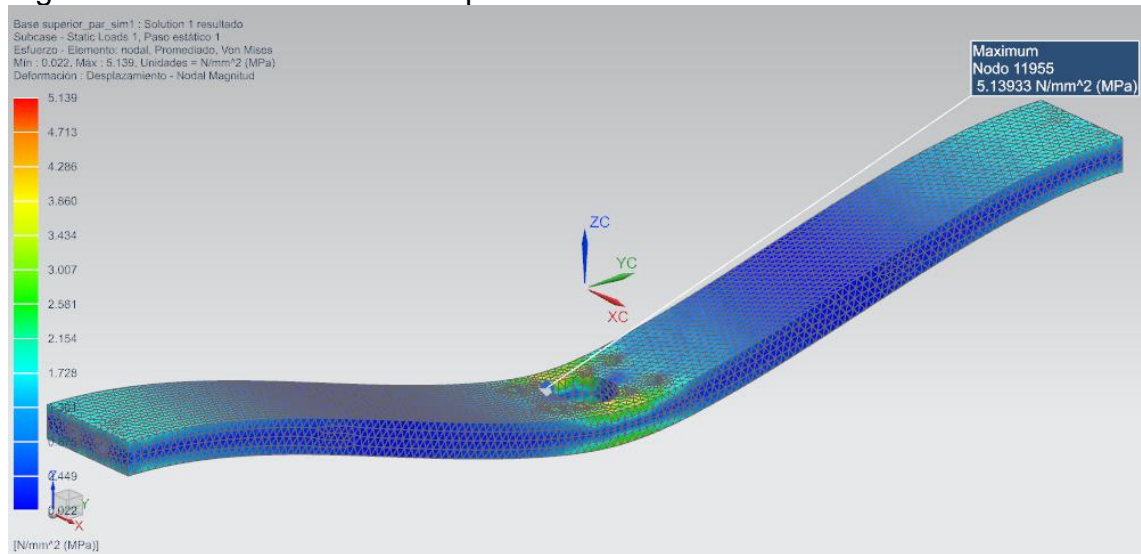
A continuación, se observa el esfuerzo von mises, y von mises promedio donde se tiene como resultado; 7,322 MPa y Von mises promedio 5,139. Respectivamente.

Figura 77. Esfuerzo von misses.



Fuente: elaboración propia.

Figura 78. Esfuerzo von misses promedio.



Fuente: elaboración propia.

Una vez se tiene el desplazamiento se debe aplicar la ecuación 20. Usada anteriormente en la sección 4.1.5.

$$Deflexion\ maxima = \frac{1}{360} * L = \frac{1}{360} * (700\ mm) = 1,94\ mm$$

Se realiza un análisis por medio de comparación, teniendo en cuenta el valor obtenido de 1,9 mm, y el obtenido anteriormente en la simulación de 0,0253 mm. Y se llega a la conclusión de que el desplazamiento no es significativo por lo cual es un sistema apropiado

4.4 SISTEMA DE ALIMENTACIÓN

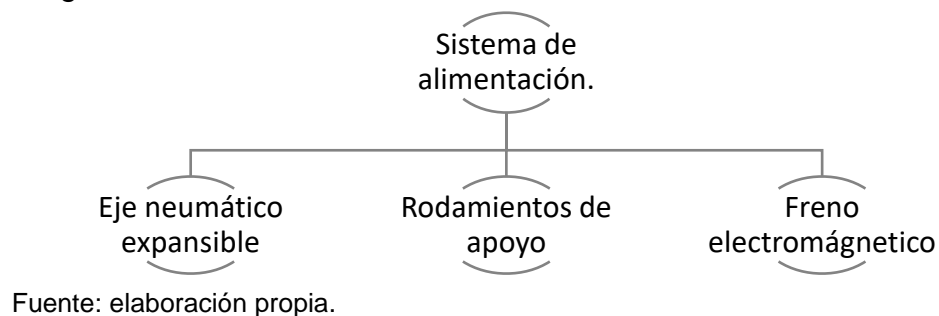
El sistema de alimentación es aquel sistema donde se ubicará la bobina es decir la materia prima, para el diseño de este sistema hay que tener en cuenta factores como:

- Peso de la bobina: 50 Kg
- El ancho necesario en la zona de trabajo: 550 mm.

Así mismo se debe recordar que para el cumplimiento de los parámetros el sistema de alimentación posee 3 subsistemas:

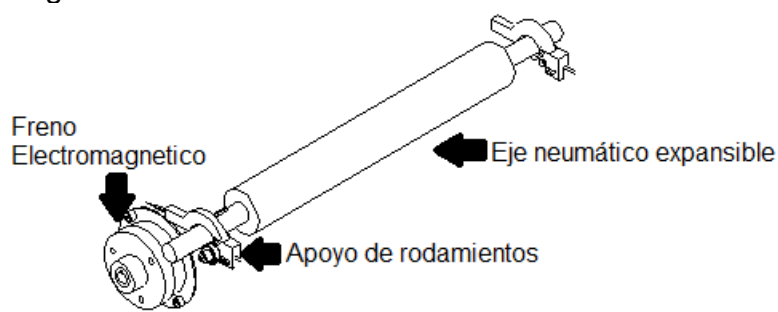
- Ejes neumáticos expansibles
- Rodamientos de apoyo
- Freno electromagnético.

Diagrama 21. Sistema de alimentación, subsistemas.



En la figura de a continuación se puede observar la ubicación de los subsistemas.

Figura 79. Sistema de alimentación.



A continuación, se llevará a cabo la selección del eje neumático.

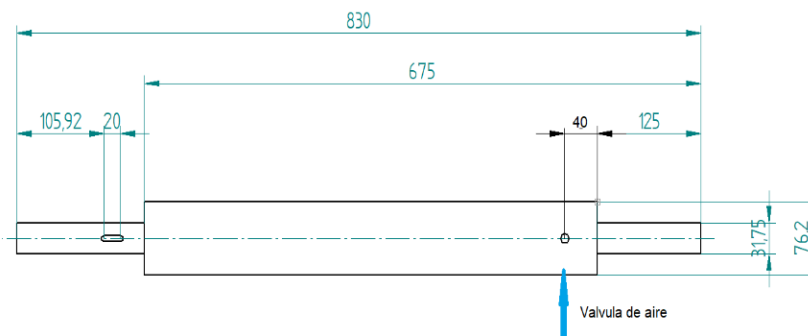
5.3.6 Ejes neumáticos expansibles. Para este sistema la empresa Flextec Ltda., ofrece su acompañamiento y diseña el eje según los requerimientos de los clientes, por lo cual, es necesario proporcionar un boceto de la distribución en el eje, teniendo en cuenta que el eje debe:

- Acoplar en uno de sus extremos, el freno electromagnético (Cuñero para el engrane).
- Soportar el peso de la bobina sin problema: 50 Kg
- El diámetro interno del core: 3 in= 76.2 mm

A continuación, se presenta el boceto presentado con las dimensiones solicitadas por la empresa.

- Longitud total: 830 mm
- Longitud del cuerpo: 550 mm
- Distancia entre centros, o placas del bastidor: 700mm.

Figura 80. Boceto general del eje neumático expansible

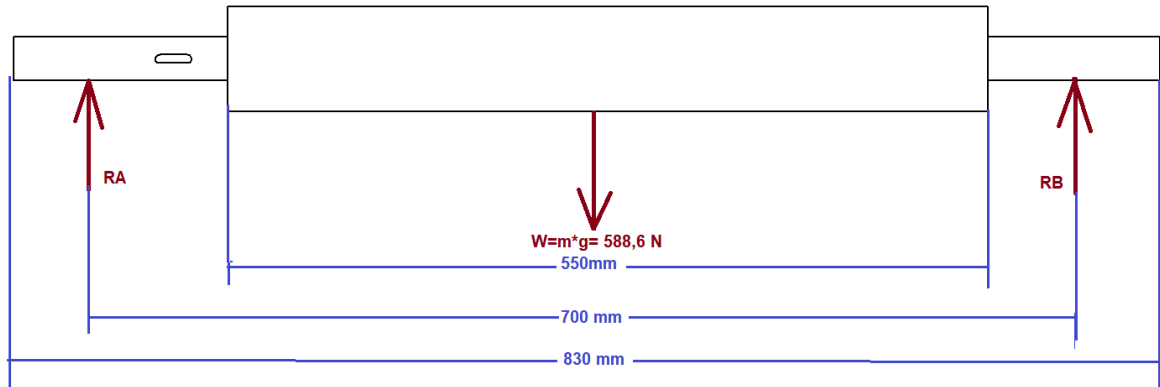


Fuente: elaboración propia.

Una vez se tiene el boceto se plantea un diagrama de cuerpo libre, donde se observa el peso total en el centro de masa, para ello se debe conocer el peso de la bobina y el eje, la masa de la bobina es máximo 50 kg y el del eje es desconocido, por lo que se va a tomar una masa de 10 kg; con ello se halla el peso:

$$w = m * g = 60kg * 9,81 \frac{m}{s^2} = 588,6 N$$

Figura 81. Boceto general del eje neumático expansible

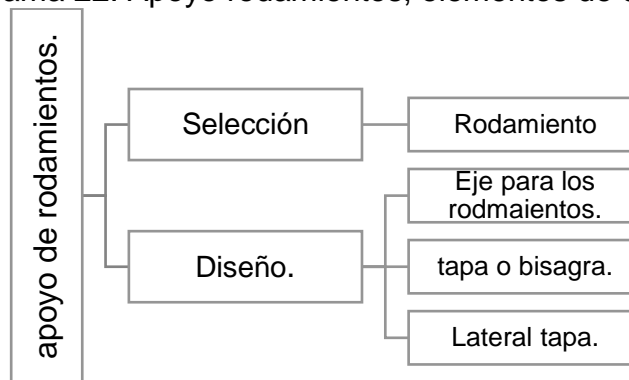


Fuente: elaboración propia.

5.3.7 Rodamientos de apoyo.

Los rodamientos de apoyo consisten en dos rodamientos en los cuales ira soportada la bobina y la cual permitirá el libre giro de la misma. Para este sistema se tienen varios elementos a seleccionar o diseñar los cuales son:

Diagrama 22. Apoyo rodamientos, elementos de diseño y selección.



Fuente: elaboración propia.

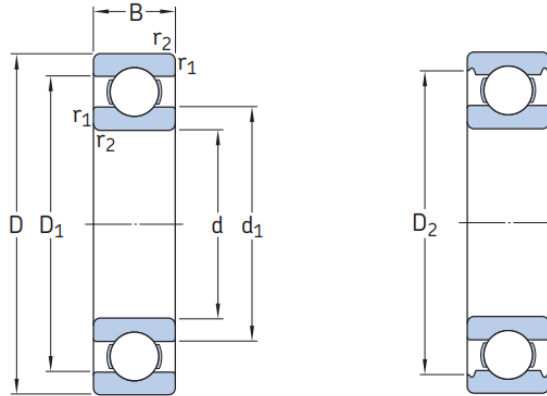
La función de los rodamientos consiste en permitir el libre giro del eje neumático, para su selección se consideró el criterio de dimensiones.

Una vez se tienen las medidas del eje neumático, se opta por una distancia entre centros de los rodamientos de 44 cm y se procede a la selección de estos a continuación.

- Selección.

Rodamiento.

Figura 82. Catalogo y selección del rodamiento.



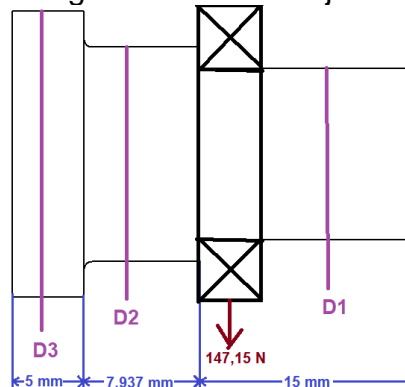
Dimensiones principales			Capacidad de carga básica		Carga límite de fatiga	Velocidades nominales		Masa	Designación
d	D	B	dinámica C	estática C ₀	P _u	Velocidad de referencia	Velocidad límite		
mm			kN		kN	r. p. m.		kg	-
12	32	10	7,28	3,1	0,132	50 000	32 000	0,037	* 6201

Fuente: SKF. Catalogo skf. Grupo SKF. octubre 2015. [consultado el 5 de septiembre de 2019]. 324 p. disponible en: https://www.skf.com/binary/76-121486/0901d19680416953-10000_2-ES---Rolling-bearings.pdf

- Diseño.

Eje para los rodamientos. Se debe diseñar un eje para soportar el rodamiento anteriormente seleccionado.

Figura 83. Diagrama inicial del eje del rodamiento.



Fuente: elaboración Propia.

Para iniciar el diseño del eje se debe calcular la resistencia a la fatiga estimada real por medio de la ecuación 5.

$$S'_n = S_n(C_m)(C_{st})(C_R)(C_s)$$

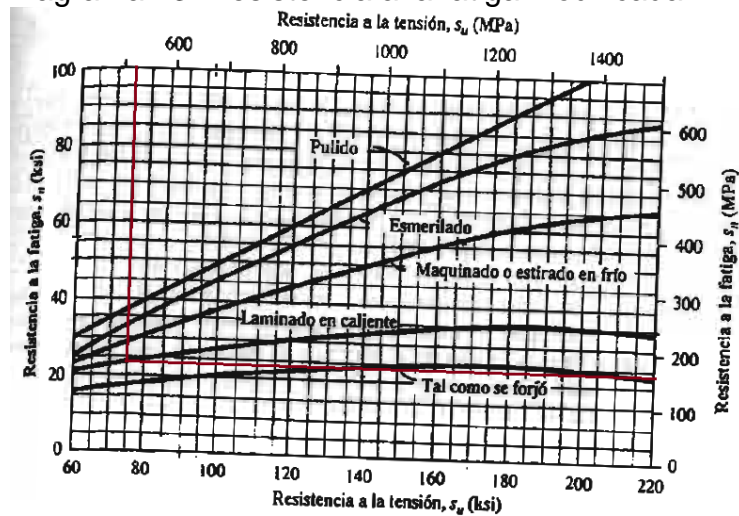
Para hallar estos factores se debe:

Tabla 49. Factores del eje para la resistencia a la fatiga estimada.

Material de la pieza: 1020;	Sy= 343 MPa	Su= 490 Mpa
Factor	Ecuación	Valor
S _n	Figura 27.	170 MPa
Factor del material → C _m	Acero forjado	C _m = 1
Factor de tipo de esfuerzo.	esfuerzo de flexión.	C _{st} = 1
Factor de confiabilidad.	Figura 28.	C _R = 0,81
Factor de tamaño. →		C _s = 1
C _s = si → 0,3 in > D > 2 in	$C_s = \left(\frac{0,472}{0,85}\right)^{-0,11}$	

Fuente: elaboración Propia. Basado en: MOTT R. L. Diseño de elementos de máquinas. México. 1995. 174 p. ISBN 9688805750.

Diagrama 23. Resistencia a la fatiga modificada.



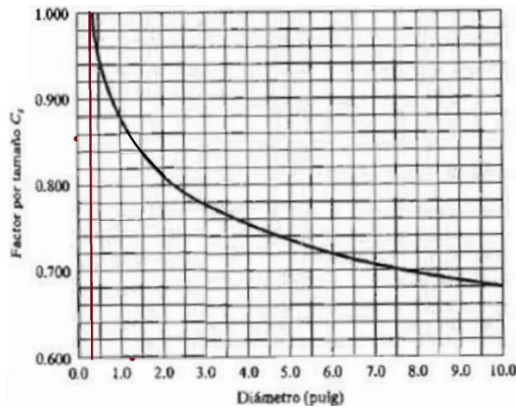
Fuente: MOTT R. L. Diseño de elementos de máquinas. México. 1995. 175 p. ISBN 9688805750.

Figura 84. Fator de confiabilidad aproximado CR.

Confiabilidad deseada	CR
0,50	1.0
0,90	0,90
0,99	0,81
0,999	0,75

Fuente: MOTT R. L. Diseño de elementos de máquinas. México. 1995. 175 p. ISBN 9688805750.

Diagrama 24. Confirmación del método grafico del factor de tamaño.



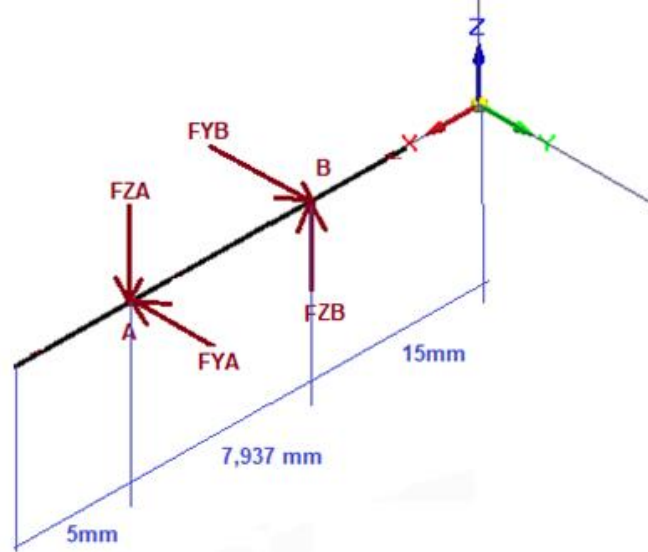
Fuente: MOTT R. L. Diseño de elementos de máquinas. México. 1995. 174 p. ISBN 9688805750.

Resistencia a la fatiga estimada real $S'_n = 365 \text{ MPa} \cdot (1) \cdot (1) \cdot (0,81) \cdot (1) = 295,65 \text{ MPa}$

$$\frac{S_y}{S'_n} = \frac{3,43 \times 10^8 \text{ Pa}}{295,65 \times 10^6 \text{ Pa}} = 1,16$$

1,16 veces más sobre el límite.

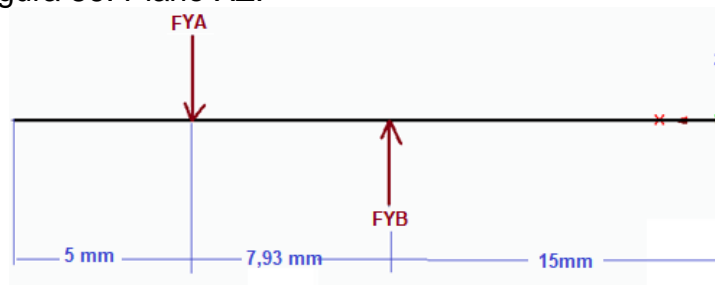
Figura 85. Diagrama de fuerzas 3D.



Fuente: elaboración propia.

- Torque No hay
- Velocidad angular B= $\omega_B = 18,88 \text{ RPM} = 1,977 \text{ rad/s}$ (Sección. 4.4.3)

Figura 86. Plano XZ.



Fuente: elaboración propia.

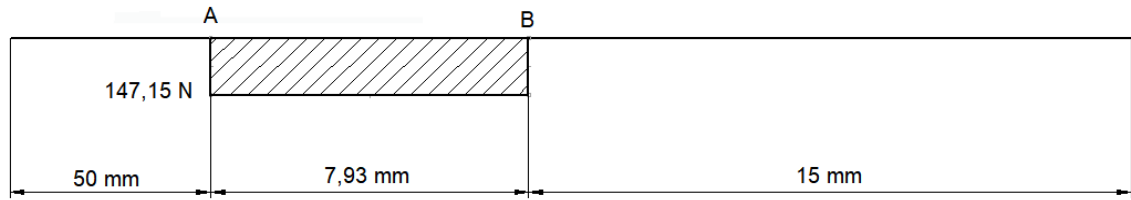
Ecuaciones.

$$\sum FZ = 0$$

$$-F_{YA} + R_{YB} = 0 \quad (1)$$

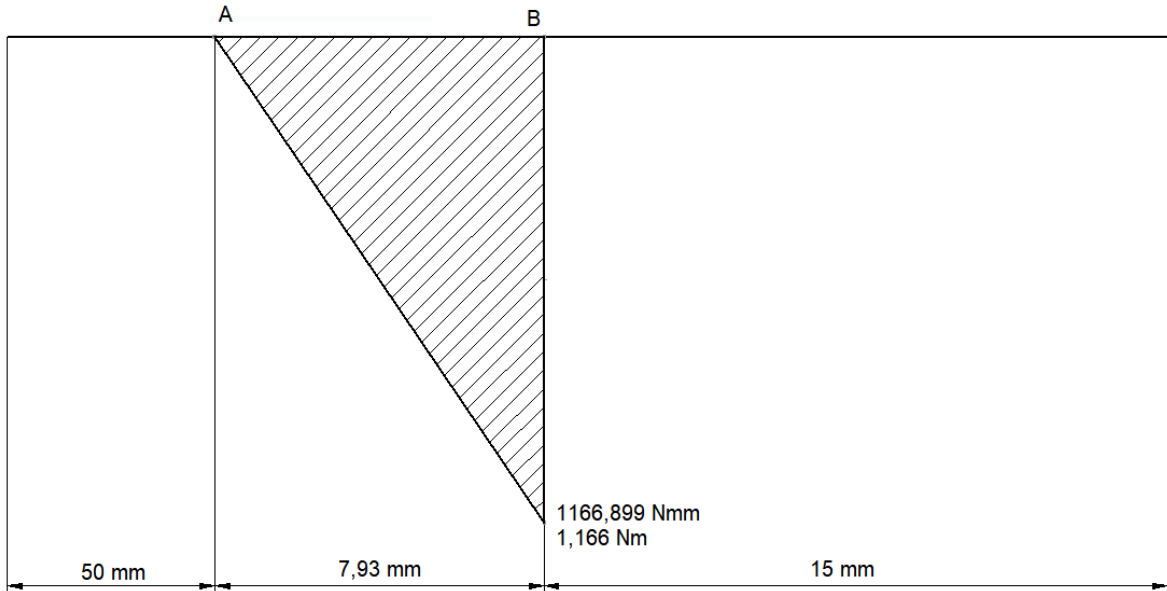
$$F_{YA} = 147,15 \text{ N}$$

Figura 87. Diagrama de esfuerzo cortante.



Fuente: elaboración propia.

Figura 88. Diagrama de momento flector



Fuente: elaboración propia.

Una vez se tienen los diagramas, momentos y fuerzas se procede a hallar el diámetro.

Ecuación 36. Diámetro de eje.

$$D = \left[\frac{32 * N}{\pi} * \sqrt{\left[\frac{Kt * M}{S'n} \right]^2 + \frac{3}{4} \left[\frac{T}{Sy} \right]^2} \right]^{\frac{1}{3}}$$

Fuente: MOTT R. L. Diseño de elementos de máquinas. México. 1995. 177 p. ISBN 9688805750.

N= factor de seguridad= 2.

Tabla 50. Diámetros del eje.

Denominación	Momento torque y factores	Ecuación	Diámetro (mm)
D1.	Momento= 1,166 Nm Torque= 0 Nm Factor= 2,5 redondeo agudo	$\left[\frac{32 * 2}{\pi} * \sqrt{\left[\frac{2.5 * 1,166 Nm}{295,65 \times 10^6 N/m^2} \right]^2 + \frac{3}{4} \left[\frac{0 Nm}{3,43 \times 10^8 N/m^2} \right]^2} \right]^{\frac{1}{3}}$	0,005m 5,85 mm
D2	Pendiente.		
D3	Pendiente.		

Fuente: elaboración propia.

A continuación, se analiza el diámetro donde se ubica el rodamiento teniendo en cuenta que los rodamientos se ubican en chaflanes agudos, tenemos que:

Teniendo en cuenta que se tiene un rodamiento de diámetro interior 12 mm, el diámetro 1 tendrá dicho diámetro, con un chaflan escalonado agudo. Con lo anterior los diámetros a usar son:

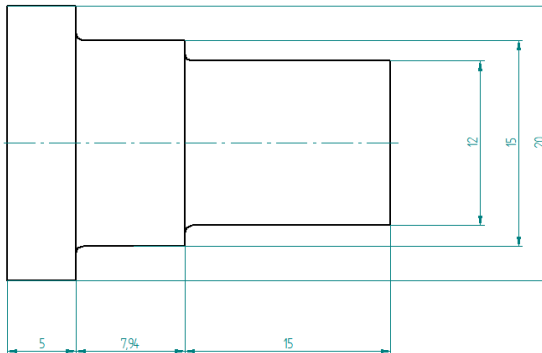
Tabla 51. Diámetros del eje.

Diámetro	Justificación.	Valor (mm)
D1	Mínimo se debe usar un eje de 5,85mm	12 mm.
D2	Se tomará un diámetro de 15 para acoplar en el bastidor	15 mm
D4	Tope en el bastidor	20 mm

Fuente: elaboración propia.

A continuación, se muestra el plano del eje.

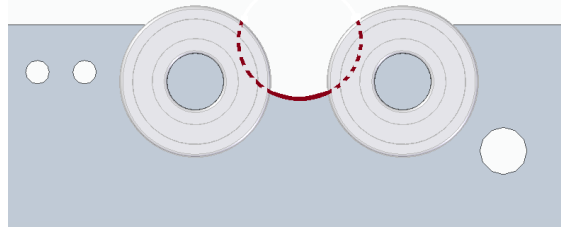
Figura 89. Dimensiones del eje.



Fuente: elaboración propia.

En el bastidor se debe elaborar un desbaste circular para que evitar el choque, roce y desgaste entre el eje neumático y el bastidor.

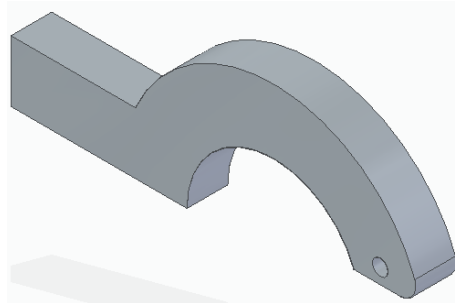
Figura 90. Desbaste circular.



Fuente: elaboración propia.

Tapa superior. Esta tapa o bisagra es la encargada de recubrir el eje, evita que los esfuerzos generados por el giro cambien de posición el eje.

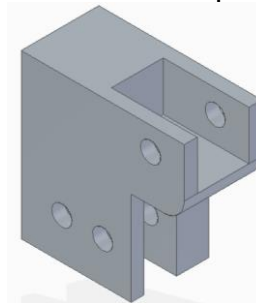
Figura 91. Tapa superior para el eje neumático



Fuente: elaboración propia.

Lateral de la tapa superior. Esta tapa es el complemento de la bisagra, permite el accionamiento (abrir y cerrar) de la bisagra.

Figura 92. Lateral de la tapa superior.

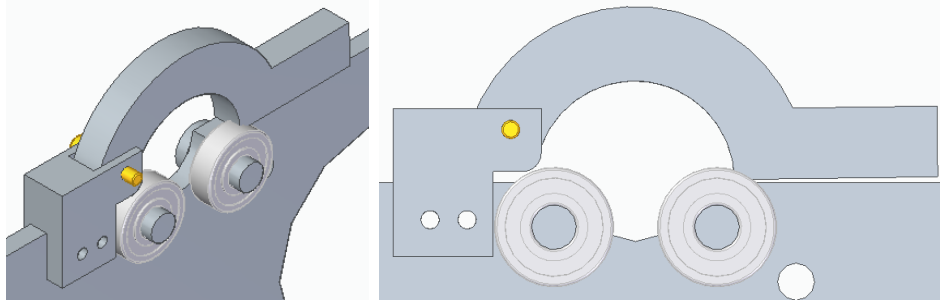


Fuente: elaboración propia.

Para conocer las medidas ir al anexo D plano 21 y 22 respectivamente. El material de estos dos componentes es H.R.

A continuación, se muestra el modelo ensamblado del apoyo para el eje.

Figura 93. Ensamble apoyo para el eje.



Fuente: elaboración propia.

5.3.8 Freno electromagnético. El freno electromagnético nos brindara un control al desenvolver la bobina. La importancia de realizar esta labor de manera correcta radica en que, poca tensión provoca descontrol de la bobina, y numerosa tensión puede variar las medidas. Para lo anterior la empresa Warner electric nos proporcionó asesoramiento, según lo anterior se nos pidió hallar el torque y la velocidad angular generada por la bobina.

Torque. Teniendo en cuenta la fuerza y torque obtenida en la sección 4.2.2. tenemos que

$$\text{Torque bobina} = \tau \text{ bobina} = 85.50 \text{ Nm} = 59.373753 \text{ Lb ft}$$

Una vez obtenido el torque se observa en la Figura 102. la tabla proporcionada por Warner electric, la cual nos indica el freno básico de tensión a seleccionar, según el torque a usar se selecciona un freno TB-1000, a pesar de lo anterior se considera que con la relación adecuada de engranes el freno seleccionado es TB-500. (es conveniente realizar esta relación, teniendo en cuenta el costo elevado de un freno TB-1000 respecto a un TB-500 y las dimensiones máximas del freno) Para conocer las dimensiones ir al Anexo C.

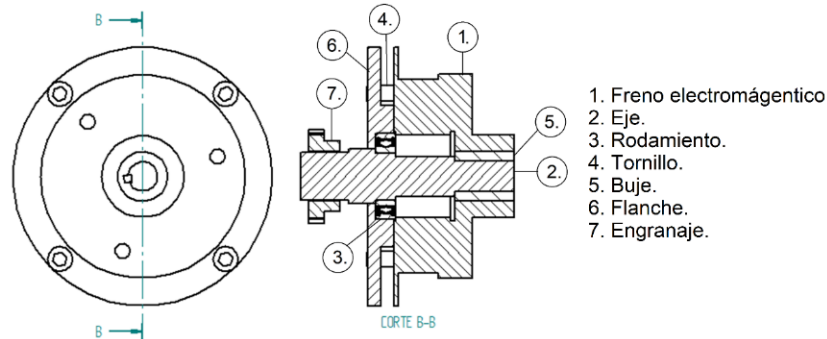
Figura 94. Selección de freno básico de tensión.

Unit Size	Energy Rate		Maximum RPM	Minimum ² Torque (lb.ft.)	Maximum ³ Dynamic Torque (lb.ft.)	Amps	Ohms	Watts
	Continuous	Alternate ¹						
TB-170	0.02 HP	0.03 HP	5000	0.000	0.500	.215	111.2	5.16
TB-260	0.04 HP	0.06 HP	5000	0.060	1.700	.400	60	9.6
TB-425	0.08 HP	0.13 HP	5000	0.120	5.200	.317	76	7.6
TB-500	0.13 HP	0.24 HP	5000	0.150	18.500	1.0	24	24
TB-825	0.27 HP	0.48 HP	3000	0.360	43.200	1.18	20	28
TB-1000	0.48 HP	0.88 HP	2400	0.790	88.000	1.22	20	29

Fuente: WARNER ELECTRIC. Tension Control Systems for Light, Medium, and Heavy-Duty Tensioning. EEUU. Warner Electric. 2019. [consultado el: 11/ septiembre / 2019]. 60 p. Disponible en: www.altraliterature.com/-/media/Files/Literature/Brand/warner-electric/catalogs/p-771-we.ashx

El funcionamiento del freno consiste en un freno de disco el cual al ser energizado genera un campo magnético, este campo atrae un juego de láminas interiores lo que genera el frenado. Asimismo, el freno se ve efectivo gracias a un eje acoplado a su interior y un engranaje conectado a su vez al eje neumático expansible. Como se muestra en la siguiente figura.

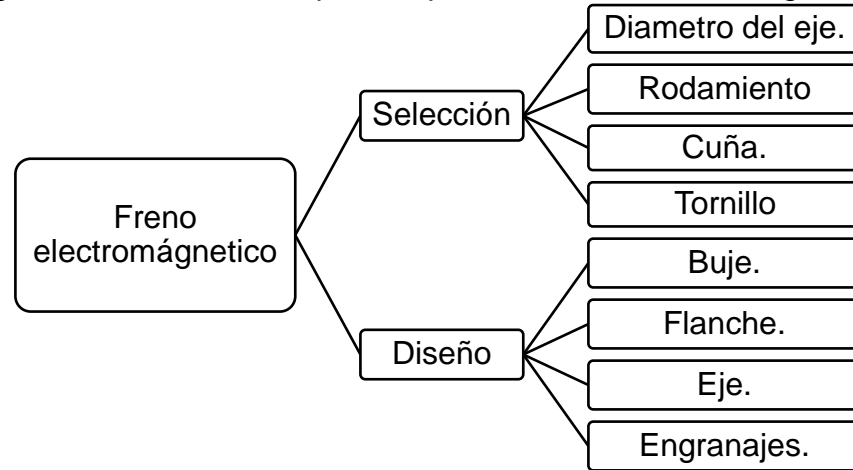
Figura 95. Partes y componentes del sistema de frenado.



Fuente: elaboración propia.

Al momento de ensamblar el freno para su funcionamiento se necesitan seleccionar y diseñar los siguientes elementos:

Diagrama 25. Elementos que componen el freno electromagnético.



Fuente: elaboración propia. Septiembre de 2019. Bogotá D.C.

- Selección.

Diámetro del eje y cuña. El freno en su interior debe acoplar un eje que será el encargado de transmitir el frenado, para conocer las dimensiones que puede poseer este eje se consulta al fabricante, Warner electric quien proporciona el cuadro de la Figura 60. Teniendo en cuenta que entre el eje y el freno se encuentra un buje se selecciona un diámetro de eje de $\frac{3}{4}$ in con un cuñero de $\frac{3}{16}$ in x $\frac{3}{32}$ in.

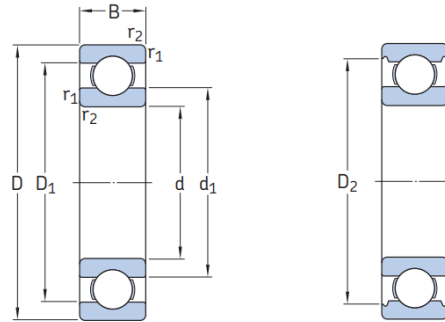
Figura 96. Recomendaciones y selección del eje para freno TB 500.

Shaft Size	Keyway Size	Bushing Number	
		Warner Electric	Dodge
3/4	3/16 x 3/32	180-0120	1215

Fuente: Warner electric. Tension Control Systems for Light, Medium, and Heavy-Duty Tensioning. [en línea] USA. [consultado el 11 de septiembre de 2019] 133 p. disponible en: <https://www.altraliterature.com/-/media/Files/Literature/Brand/warner-electric/catalogs/p-771-we.ashx>

Rodamiento. El eje debe acoplarse de manera correcta al bastidor mediante un flanche, este debe contener un rodamiento para permitir el giro, para su selección se hace uso del catálogo de SKF.

Figura 97. Selección de rodamiento para freno electromagnético.



Dimensiones principales			Capacidad de carga básica		Carga límite de fatiga	Velocidades nominales		Masa	Designación
d	D	B	dinámica C	estática C ₀	P _u	Velocidad de referencia	Velocidad límite		
mm			kN		kN	r. p. m.		kg	-
30	55	13	13,8	8,3	0,355	28000	17000	0,12	* 6006

Fuente: SKF. Catalogo skf. Grupo SKF. octubre 2015. [consultado el 5 de septiembre de 2019]. 326 p. disponible en: www.skf.com/binary/76-121486/0901d19680416953-10000_2-ES---Rolling-bearings.pdf

Tornillo, para sujetar el freno al bastidor se hace necesario el uso de tornillos Allen M10, el criterio de selección de estos es debido a que el freno posee dichas dimensiones (Consultar Anexo B)

- Diseño.

Buje. Una vez se selecciona el diámetro del eje se procede al diseño del buje, este se debe acoplar al eje y tener como dimensiones:

- Diámetro interior: $\frac{3}{4}$ in = 19,05 mm
- Diámetro exterior: 32 mm
- Largo: 28 mm

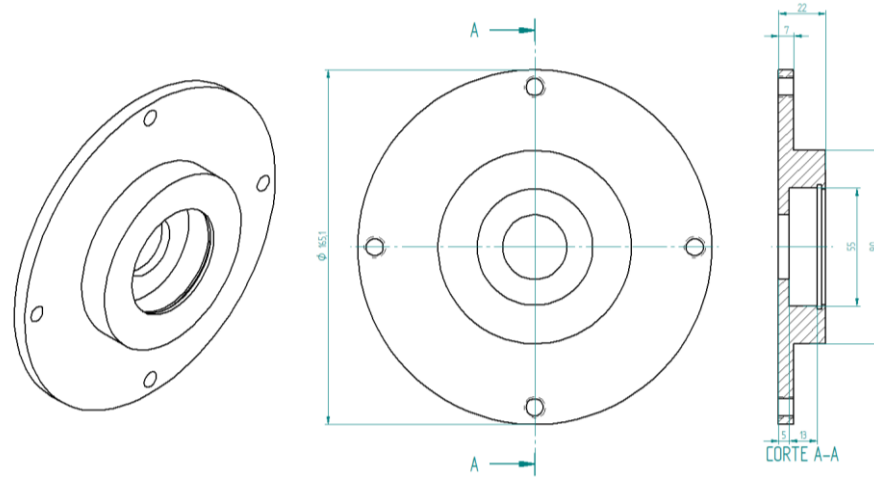
Figura 96.

Tomado del plano Anexo C.

Tomado del plano Anexo C.

Flanche. Es el encargado del acople, ajustar y asegurar, el eje y el freno al bastidor. El Flanche fue diseñado teniendo en cuenta las dimensiones del freno, el cual tiene las dimensiones de la figura 63.

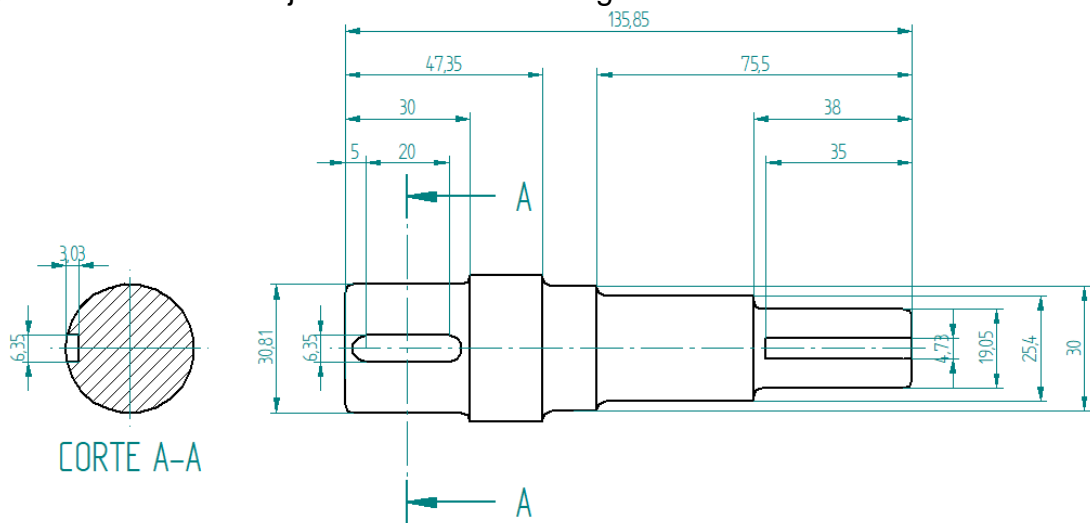
Figura 98. Flanche freno.



Fuente: elaboración propia.

Eje. Para transmitir el accionamiento del freno se debe hacer uso de un eje, el cual se posición en el centro del freno, va acoplado a un buje, en un extremo, al otro se acopla a un rodamiento el cual se encuentra en un Flanche y por último un engranaje. Teniendo en cuenta lo anterior se debe mecanizar un eje de 1 3/8 in con las siguientes dimensiones. Para conocer con mayor detalle las dimensiones observar el plano 25.

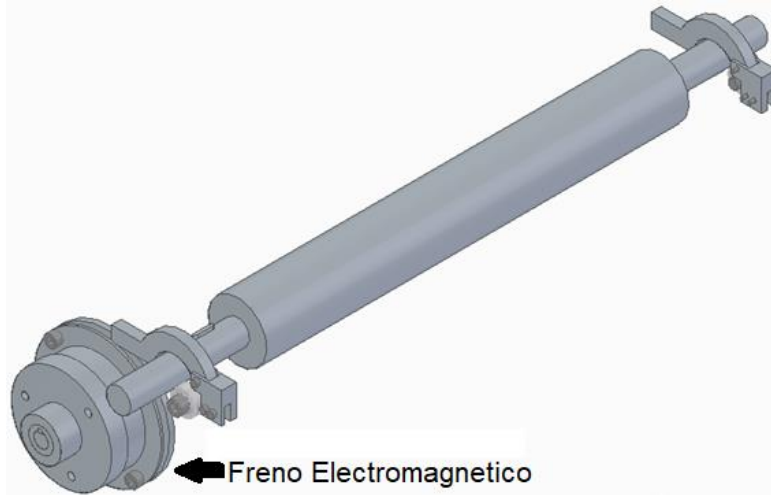
Figura 99. Boceto del eje del freno electromagnético.



Fuente: elaboración propia.

Una vez se tienen todos los componentes se procede a realizar el ensamble del sistema de frenado y se acopla al subsistema de apoyo y al eje neumático.

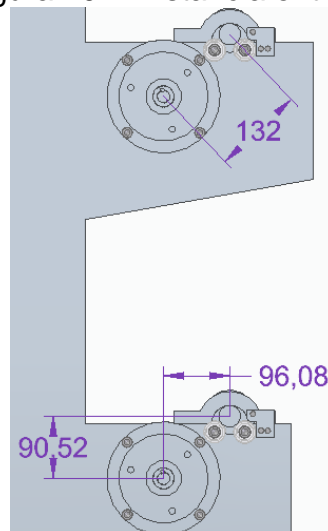
Figura 100. Ensamble del freno al sistema de alimentación.



Fuente: elaboración propia. Septiembre de 2019. Bogotá D.C.

Una vez acoplado el freno se procede a hallar la distancia entre centros del eje del freno y el eje neumático expansible.

Figura 101. Distancia entre centros.



Fuente: elaboración propia.

Se ubica el freno y se halla la distancia entre el eje del freno y el eje neumático expansible.

Ecuación 37. Distancia entre centros

$$Distancia = \sqrt{(x)^2 + (y)^2} = \sqrt{(96,08 \text{ mm})^2 + (90,52 \text{ mm})^2} = 132 \text{ mm}$$

Fuente: SERWAY Raymond. Mexico D.F. Cengage learning. 2008. 60 p. séptima edición. ISBN ISBN-13: 978-607-481-357-9

Esta distancia servirá para la selección de los engranes que harán el accionamiento del freno.

- Piñón
 - Modulo= 1,5
 - Diámetro= 57mm
 - Dientes= 38 dientes

Ecuación 38. Numero de dientes del piñón.

$$\phi_{\text{piñon}} = M * Z$$
$$\frac{\phi_{\text{piñon}}}{M} = Z = \frac{57\text{mm}}{1,5} = 38 \text{ dientes}$$

Fuente: SHIGLEY. J.E. Teoría de máquinas y mecanismos. México. Mc Graw Hill 2001. 260 p. ISBN 0-07-056884-7

Si la distancia total es de 132 mm el otro piñón debe tener:

Ecuación 39. Diámetro de la corona.

$$132\text{mm} = \text{radio piñon 1} + \text{radio piñon 2} \rightarrow 132\text{mm} - \frac{57\text{mm}}{2} = \text{radio piñon 2} = 103,5\text{mm}$$

Fuente: SHIGLEY. J.E. Teoría de máquinas y mecanismos. México. Mc Graw Hill 2001. 260 p. ISBN 0-07-056884-7

$$\phi_{\text{corona}} = 207 \text{ mm}$$

- Piñon 2.
 - Modulo= 1,5
 - Diámetro= 207 mm
 - Dientes= 138 dientes

Aplicando la ecuación 25 se obtiene:

$$\phi_{\text{piñon}} = M * Z \quad \rightarrow \quad \frac{\phi_{\text{corona}}}{M} = Z = \frac{207\text{mm}}{1,5} = 138 \text{ dientes}$$

Torque: se aplica la ecuación 12.

$$\tau_{\text{Bobina}} = 85,502 \text{ Nm}$$

$\tau_{\text{Bobina}} = \tau_{\text{engrane del eje}}$

$$\tau_{\text{engrane del eje}} = F * r \quad \rightarrow \quad F = \frac{\tau}{r} = \frac{85,502\text{Nm}}{1,035\text{m}} = 82,61\text{N}$$

F engrane del eje = F freno

$$\tau_{\text{freno}} = F * r = 82,61 \text{ N} * 0,285 = 23,5438 \text{ Nm} = \mathbf{17,362 \text{ lb ft}}$$

Velocidad angular. Teniendo en cuenta las ecuaciones 14 y 15 de la sección 4.2.2.2.

Ecuación 14. Velocidad angular.

$$\omega = \frac{v}{r} \quad \rightarrow \quad \omega_{\text{eje motriz}} = \frac{0,55 \frac{\text{m}}{\text{min}}}{0,04 \text{ m}} = 13,75 \frac{\text{rad}}{\text{s}} = 131,30 \text{ RPM}$$

Una vez obtenido la velocidad angular de los rodillos de presión se procede a hallar la velocidad angular de la bobina haciendo uso de la ecuación 15, de la sección 3.2.2.2.

Ecuación 15. Razón de las velocidades angulares.

$$\frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{r_2}{r_1}$$

Fuente: MOTT R. L. Diseño de elementos de máquinas. México. 1995. 177 p. ISBN 9688805750.

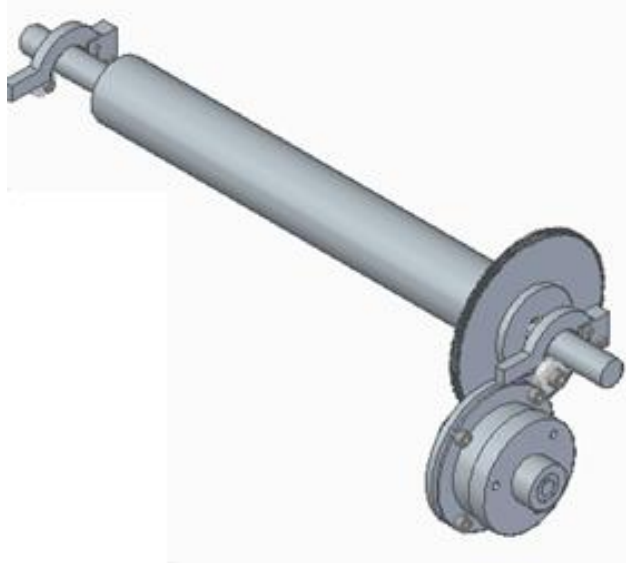
$$\omega_{bobina} = 13,75 \text{ rpm} * \frac{0,04m}{0,2782m} = 1,977 \frac{rad}{s} = 18,88 \text{ RPM}$$

$$\omega_{bobina} = \omega_{piñon \text{ eje neumático}}$$

$$\omega_{piñon \text{ eje neumático}} = 1,977 \frac{rad}{s} * \frac{1,035 m}{0,2782 m} = 7,355 \frac{rad}{s} = 70 \text{ RPM}$$

Con la relación empleada se obtiene un torque menor a 18 lb ft y una velocidad angular menor de 5000 rpm lo que lo hace ideal para el freno TB-500 respecto a la figura 103. Para conocer las dimensiones de dicho freno, consultar el anexo B.

Figura 102. Ensamble del sistema de alimentación.

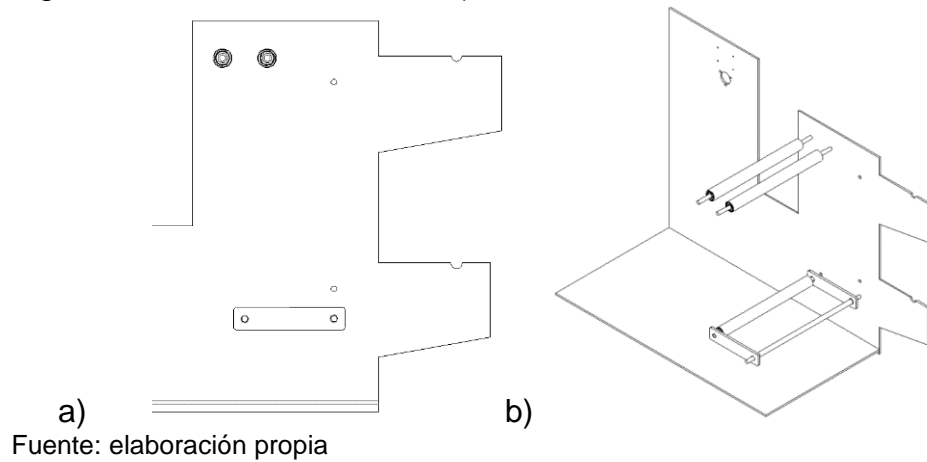


Fuente: elaboración propia.

4.4 CONTROL DE TENSION. RODILLOS BALANCÍN

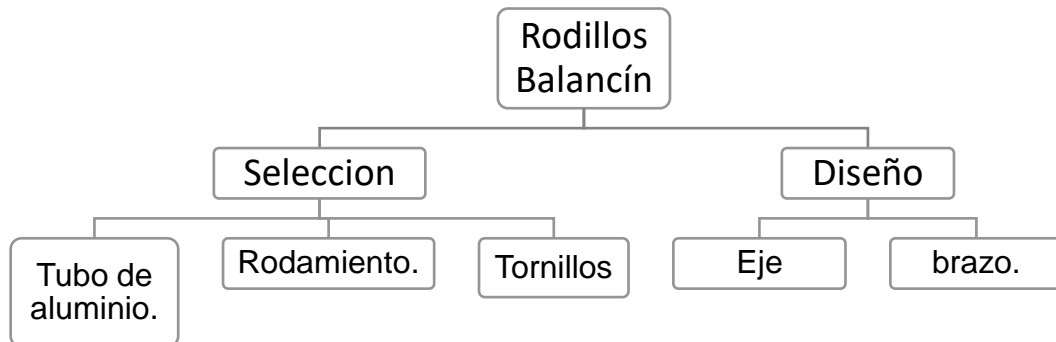
Consiste principalmente en tres rodillos locos ubicados en configuración horizontal, dos rodillos superiores fijos y uno inferior conectado a un brazo, encargados de evitar el halado brusco que se genera en el sistema de dosificación el cual puede generar la rotura del material.

Figura 103. Rodillos balancín. a) Vista lateral. b) vista general parcial.



Al igual que otros sistemas se deben seleccionar y diseñar elementos, a diferencia de los demás, estos rodillos locos son a criterio del diseñador al no soportar cargas de gran magnitud, teniendo en cuenta las longitudes de trabajo. Para la fabricación de estos se requieren los siguientes componentes.

Diagrama 26. Elementos que componen los rodillos balancín.



Fuente: elaboración propia.

- Selección.

Tubo. Para la fabricación de estos se necesita la selección de un tubo de aluminio, para esto se tomó el catálogo de la empresa el palacio del aluminio Ltda. Y se seleccionó un tubo con las siguientes características para los 3 rodillos.

Dimensiones.

- Diámetro nominal: 2 in

- Diámetro exterior: 50,8 mm
- Longitud: 550

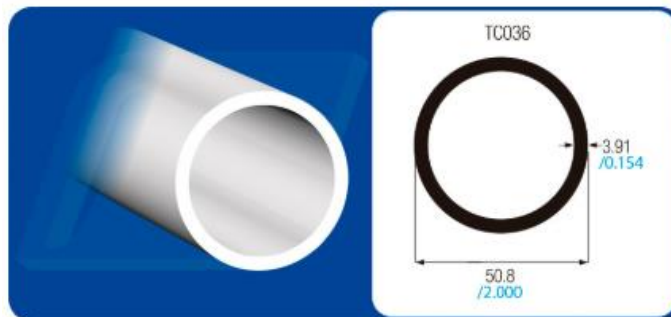
Criterios de selección.

- Criterio del diseñador, debido a que no se requiere alguna dimensión en especial. Respecto a cargas, no soportan más que su peso y la lámina.

Figura 104. Tubería seleccionada de aluminio de 2 in.

PTC036

TC. 2" x 0.154"



Fuente: El palacio del aluminio Ltda. [Sitio web]. Bogotá D.C., 2017. [Consultado el 6 de septiembre de 2019]. Disponible en: www.elpalaciodelaluminio.com/index.php/tubos-circulares/ptc036-detail

- Rodamiento. En el interior del tubo se ubican los rodamientos, como se nombró con anterioridad estos no reciben cargas elevadas, su única función proporcionar el libre giro, de ahí el nombre de rodillos locos.

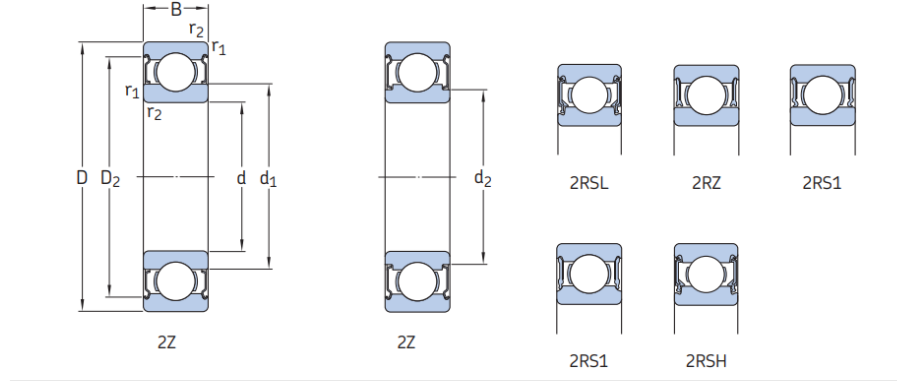
Criterios de selección.

Dimensiones

- Diámetro del tubo exterior: 50,8 mm
- Diámetro del tubo interior: 42,98 mm
- Al tubo se le debe realizar un mecanizado

Rodamiento seleccionado 6303-Z

Figura 105. Selección de rodamiento para rodillos balancín.



Dimensiones principales			Capacidad de carga básica		Carga límite de fatiga P_u	Velocidades nominales		Masa	Designaciones Rodamientos tapados en ambos lados
d	D	B	dinámica C	estática C_0		Velocidad de referencia	Velocidad límite ¹⁾		
mm			kN		kN	r. p. m.		kg	-
17	47	14	14,3	6,55	0,275	34 000	17 000	0,12	* 6303-2Z

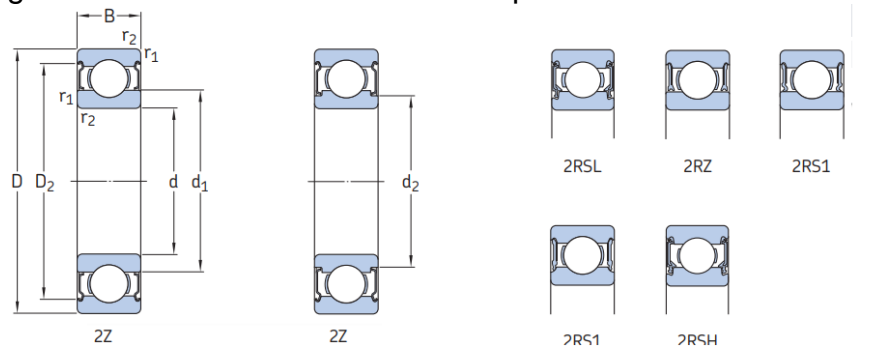
Fuente: SKF. Catalogo skf, Grupo SKF. octubre 2015. [consultado el 5 de septiembre de 2019]. 354 p. disponible en: https://www.skf.com/binary/76-121486/0901d19680416953-10000_2-ES---Rolling-bearings.pdf

El siguiente rodamiento se ubica en el brazo, el cual tendrá un diámetro menor que en el caso anterior.

Criterio de selección.

- Diámetro interior = 15mm

Figura 106. Selección de rodamiento para rodillos balancín.



Dimensiones principales			Capacidad de carga básica		Carga límite de fatiga P_u	Velocidades nominales		Masa	Designaciones Rodamientos tapados en ambos lados
d	D	B	dinámica C	estática C_0		Velocidad de referencia	Velocidad límite ¹⁾		
mm			kN		kN	r. p. m.		kg	-
15	35	11	8,06	3,75	0,16	43 000	22 000	0,046	* 6202-2RSL

Fuente: SKF. Catalogo skf, Grupo SKF. octubre 2015. [consultado el 5 de septiembre de 2019]. 354 p. disponible en: https://www.skf.com/binary/76-121486/0901d19680416953-10000_2-ES---Rolling-bearings.pdf

Tornillos. Para la sujeción de los rodillos locos, se hace empleo de tornillos Allen M8, los cuales sujetaran dichos rodillos al bastidor.

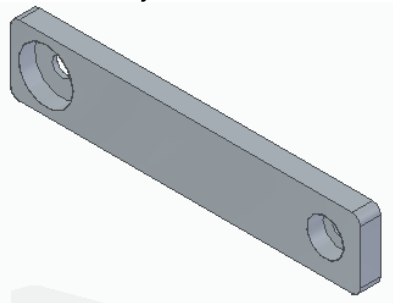
- Diseño.

Eje de macizo. Se debe ubicar en el centro del tubo de aluminio, este eje tendrá las siguientes características:

- Material: Cold roll (C.R.).
- Diámetro exterior: 50,8 mm
- Longitud: 2 X 700 mm
1 X 600 mm

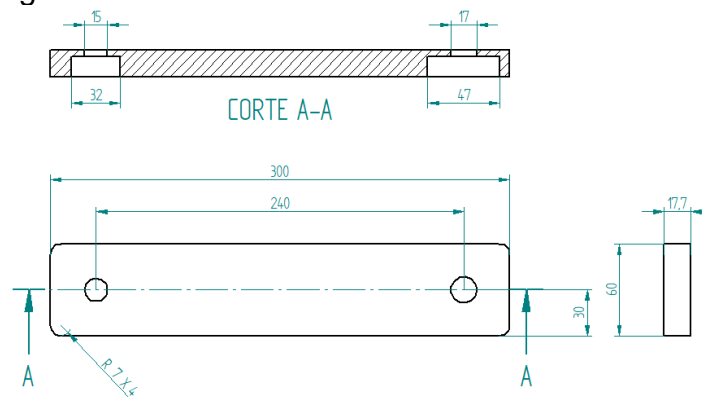
Brazo. El rodillo inferior va conectado a un brazo, este brazo está asegurado al bastidor y a su vez es el encargado de mover el rodillo loco inferior para evitar el halado brusco. Consiste en una lámina con dos ranuras para el acople de los rodamientos como se muestra a continuación.

Figura 107. Rebaje en tubería de aluminio.



Fuente: elaboración propia.

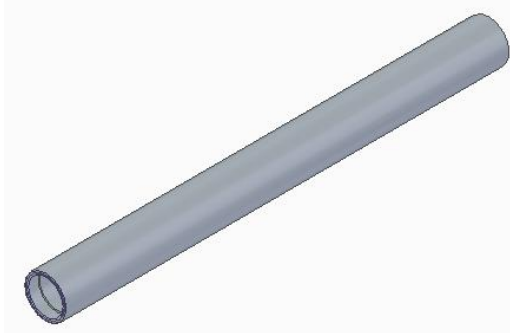
Figura 108. Plano del brazo.



Fuente: elaboración propia.

Mecanizado. En el cilindro se le realiza un mecanizado interior a 47 mm de diámetro, con un ancho de 14mm para acoplar el rodamiento.

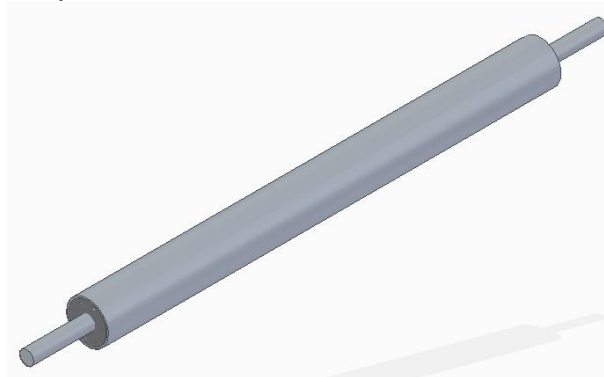
Figura 109. Rebaje en tubería de aluminio.



Fuente: elaboración propia.

A continuación, se realiza el ensamble, acoplando el eje al rodamiento y este a su vez al tubo.

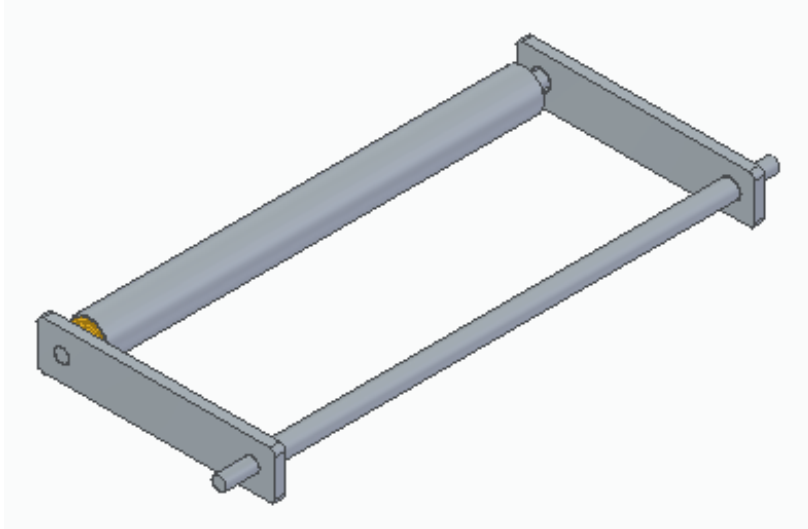
Figura 110. Ensamble de los rodillos superiores.



Fuente: elaboración propia.

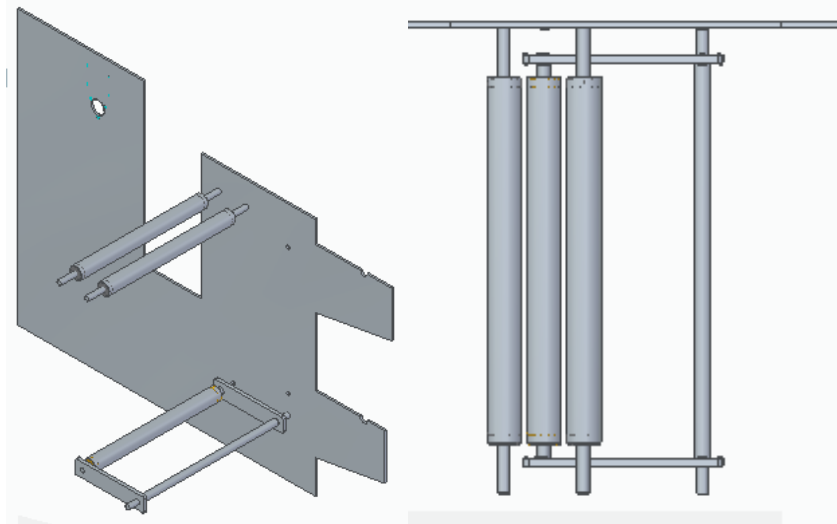
El rodillo inferior contiene el eje de menor longitud. El ensamble de este consiste en acoplarlo al brazo como se muestra en el siguiente montaje.

Figura 111. Ensamble rodillo inferior, con brazo.



Fuente: elaboración propia.

Figura 112. Balancín ensamblando. a) vista general parcial, b) Vista superior.

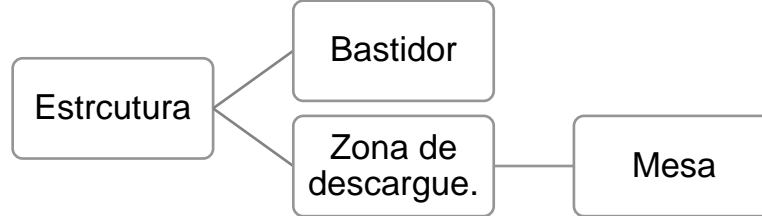


Fuente: elaboración propia

4.5 ESTRUCTURA.

La estructura es la armadura donde los otros sistemas van acoplados, estará compuesta principalmente por el bastidor, y la mesa de descargue.

Diagrama 27. Elementos a diseñar en la estructura.



Fuente: elaboración propia.

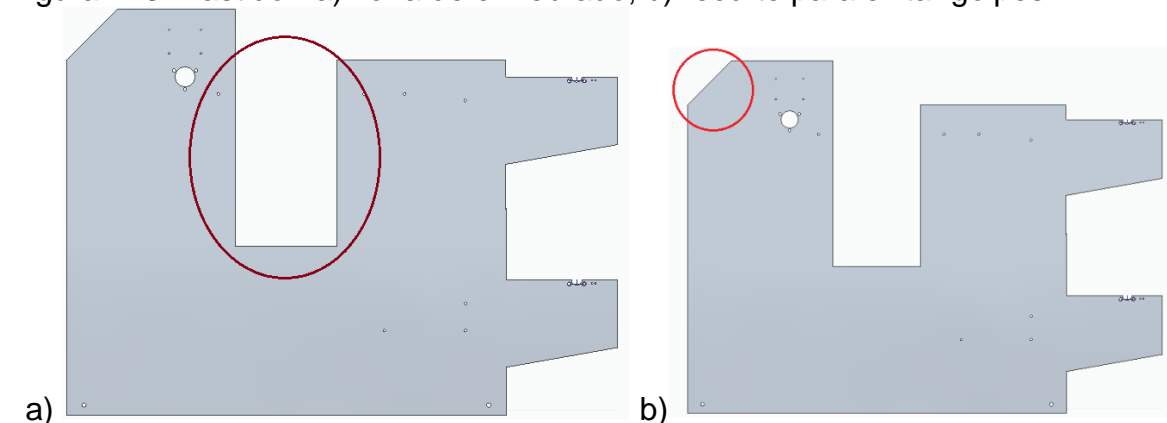
4.6.1. bastidor. Son las placas paralelas cuya función es soportar y fijar los demás sistemas. Son placas de 5/16 in, de dimensiones 170 mm x 1200 mm así se realizará el corte y se obtendrá la geometría deseada, en este caso se debe considerar un espacio donde el operario pueda enhebrar la máquina sin problema alguno; este espacio tendrá un ancho de 300 mm.

Para la selección del espesor se consideraron los siguientes criterios:

- Cargas a soportar. Debe ser capaz de soportar el peso de los sistemas que van en este, para comprobar esto en la sección 4.6.2. (se realiza la simulación para comprobar dicho criterio).
- Costo. Una placa con menor espesor sufre deformación lineal, aunque una placa con mayor espesor soporte las cargas, aumenta el costo.

Adicionalmente se debe incluir un recorte para evitar posibles golpes o accidentes al momento del descargue del material. Para conocer las dimensiones del bastidor ir al anexo D, plano 36 y 37.

Figura 113. Bastidor. a) zona de enhebrado, b) recorte para evitar golpes.

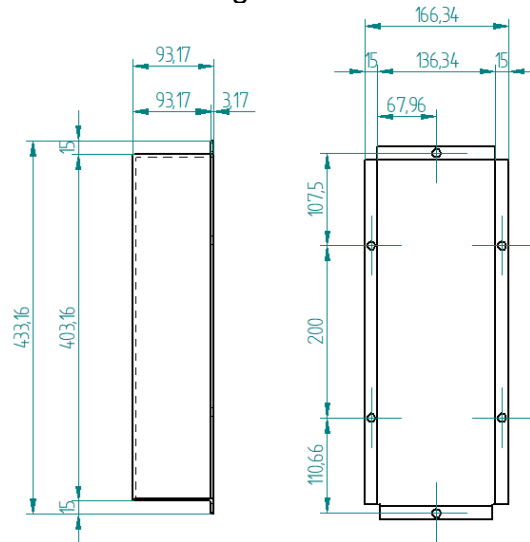


Fuente: elaboración propia.

El bastidor contiene separadores de un diámetro de 1½ in, además de una placa acoplada en la parte inferior o piso, así dar estabilidad a la máquina y reducir la vibración debido al accionamiento del motor y de la máquina.

Guarda de seguridad del sistema de potencia. Es el elemento o carcaza que tiene como función recubrir las poleas y la correa, debido a que son elementos que pueden provocar accidentes al atrapar ropa. Está fabricada en lámina H.R. de 1/8 in, se seleccionó este espesor debido a que es un elemento únicamente para recubrir y no soporta ninguna carga que pueda causarle deformación.

Figura 114. Guarda de seguridad del sistema de potencia.

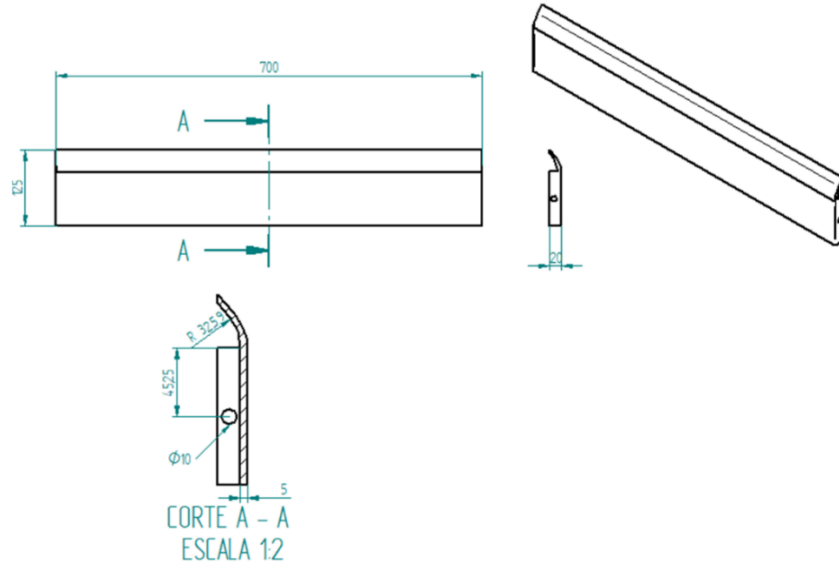


Fuente: elaboración propia,

Cubierta de seguridad para el corte. El sistema posee una cuchilla para el corte de las láminas, para mayor seguridad industrial se debe implementar una cubierta para evitar accidentes especialmente en las manos o accidentes al introducir elementos en el área de corte.

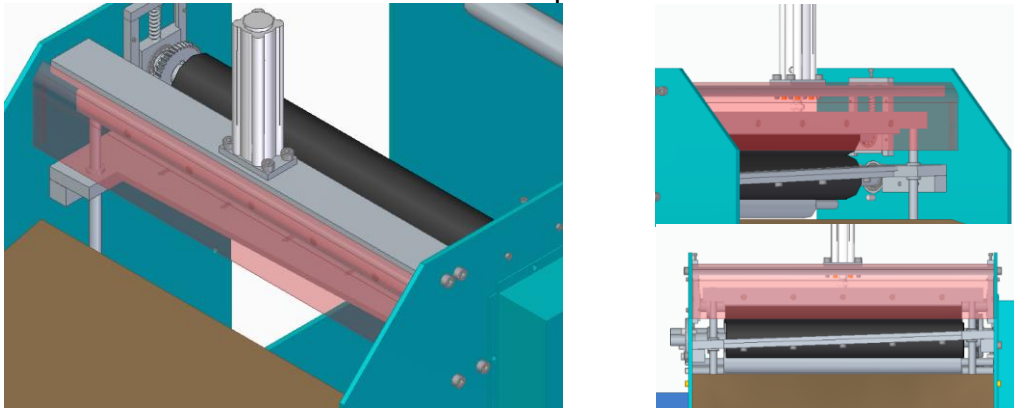
Se va a poseer una cubierta de material acrílico, ya que al ser transparente se podrá observar el sistema de corte sin problema alguno. Está cubierta posee las siguientes dimensiones:

Figura 115. Cubierta de seguridad para el sistema de corte.



Fuente: elaboración propia.

Figura 116. Cubierta ensamblada en la máquina cortadora.



Fuente: elaboración propia.

Una vez se tienen todos los sistemas, subsistemas y elementos, se debe realizar la comprobación de que las placas de los bastidores, soportan el peso de los elementos que se ubicaran en este.

5.3.9 Simulación del bastidor.

En esta sección se va a comprobar el desplazamiento que se produce en la placa, además se va a comprobar que la estructura no falla. A continuación, se tomará el peso del sistema de dosificación calculado en la sección. 4.1.5. Adicionalmente se tendrá el peso del sistema de potencia y alimentación, (freno eje y la bobina).

Figura 117. Masa del freno.

Size	TB500
Mass [kg]	2,3

WARNER ELECTRIC. Tension Control Systems for Light, Medium, and Heavy-Duty Tensioning. EEUU. Warner Electric. 2019. [consultado el: 8 de dic de 2019]. 60 p. Disponible en: /www.altraliterature.com/-/media/Files/Literature/Brand/warner-electric/catalogs/p-771-we.ashx

Teniendo la masa se calcula el peso.

$$w = 2,23 \text{ kg} * 9,81 \frac{m}{s^2} = 22,563 \text{ N}$$

Se tiene el peso del freno, pero adicionalmente se tiene un eje, un buje y un engrane, por ello se le aplica un factor de seguridad al peso y se halla el peso que se aplicara en la estructura en el subsistema de freno de alimentación.

$$w \text{ total freno} = 22,563 \text{ N} * F.s. = 22,563 \text{ N} * 1,3 = 29,3319 \text{ N}$$

Peso del motor. Según las especificaciones del motor, se tiene un peso de 3,8 kg para el freno TB-500, se halla el peso:

$$w = 3,8 \text{ kg} * 9,81 \frac{m}{s^2} = 37,278 \text{ N}$$

Al igual que en el anterior caso se aplica un factor de seguridad para halla el peso total

$$w \text{ total sis. potencia} = 37,278 \text{ N} * F.s. = 37,278 \text{ N} * 1,3 = 48,46 \text{ N}$$

Con lo anterior se procede a simular el bastidor 1. Debido a que este sistema a diferencia del otro, incluye el peso del motor, y el freno electromagnético.

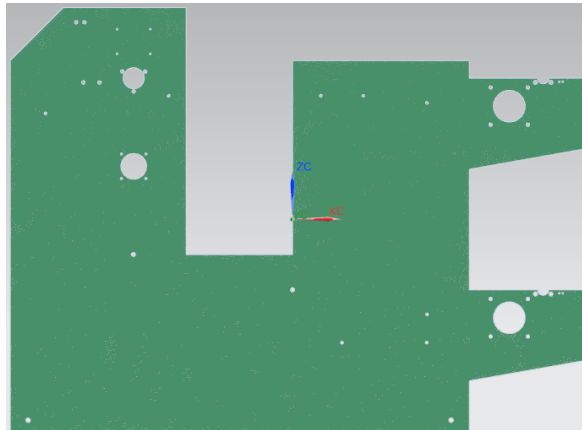
Se inicia con una malla de 5 mm con las siguientes características.

- Tipo de malla: 3D tetraédrica "CTETRA 4".

- Número de elementos en la malla: 685034
- Numero de nodos en la malla: 183407

Esta malla es apropiada ya que no contiene elementos malos o prohibidos. Material usado es un hot rolled, apropiado para estructuras.

Figura 118. Malla de 5 mm en el bastidor.

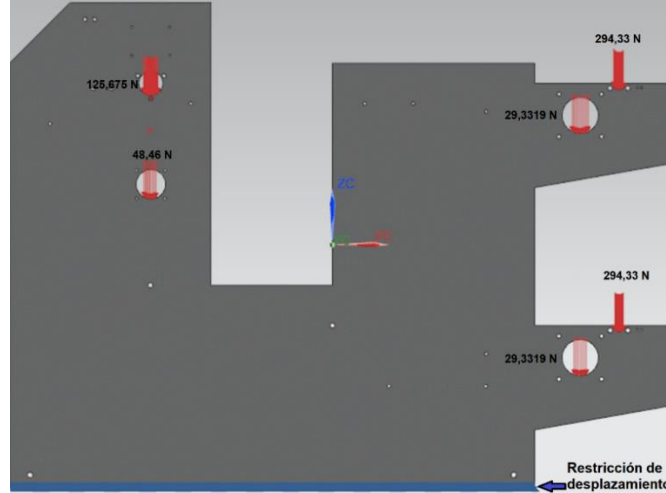


Fuente: elaboración propia.

Una vez se realiza la malla, se deben aplicar las restricciones y cargas del sistema.

- Restricciones de desplazamiento: el desplazamiento en X, Y y Z son fijos al igual que la rotación, en la base inferior de la placa.
- Respecto a cargas se aplican las siguientes:
 - Fuerza del sistema de dosificación total = 251,35 N al esta apoyado en los dos bastidores se aplica la mitad de la carga es decir de 125,675N
 - Sistema de potencia = 48,46 N
 - Sistema de alimentación (freno) = 29,3319 N
 - Sistema de alimentación (Eje neumático con bobina)

Figura 119. Cargas y restricciones del bastidor.

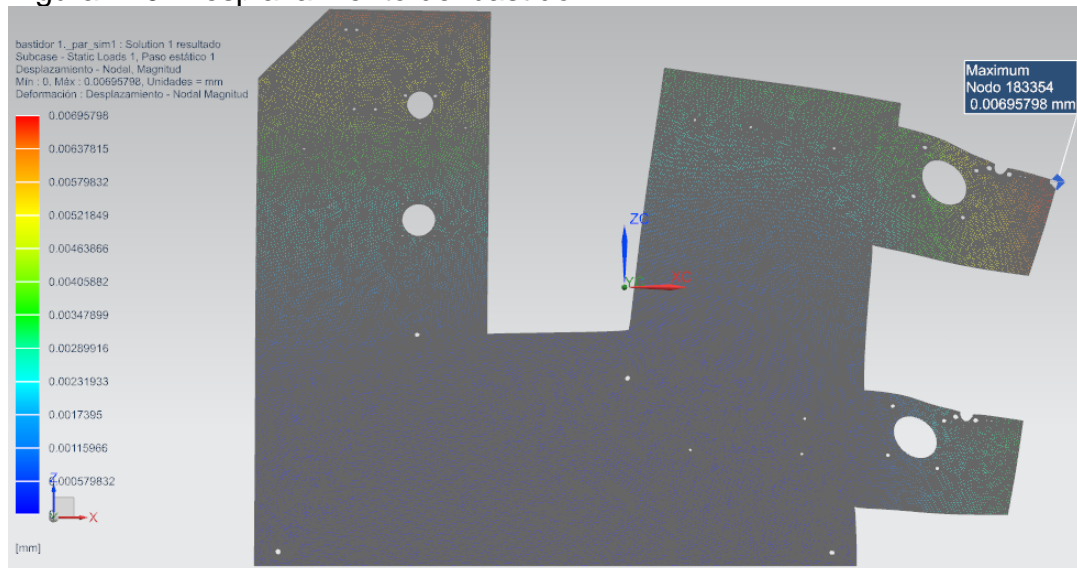


Fuente: elaboración propia.

Una vez se resuelve el sistema se obtienen los siguientes resultados:

Desplazamiento. El mayor desplazamiento se debe al peso de la bobina, en la siguiente imagen se pueden observar los resultados obtenidos; el desplazamiento arrojado es de 0,00695 mm, a pesar de lo anterior el programa arroja un desplazamiento grafico exagerado para observar de mejor manera el sector donde se da dicho desplazamiento.

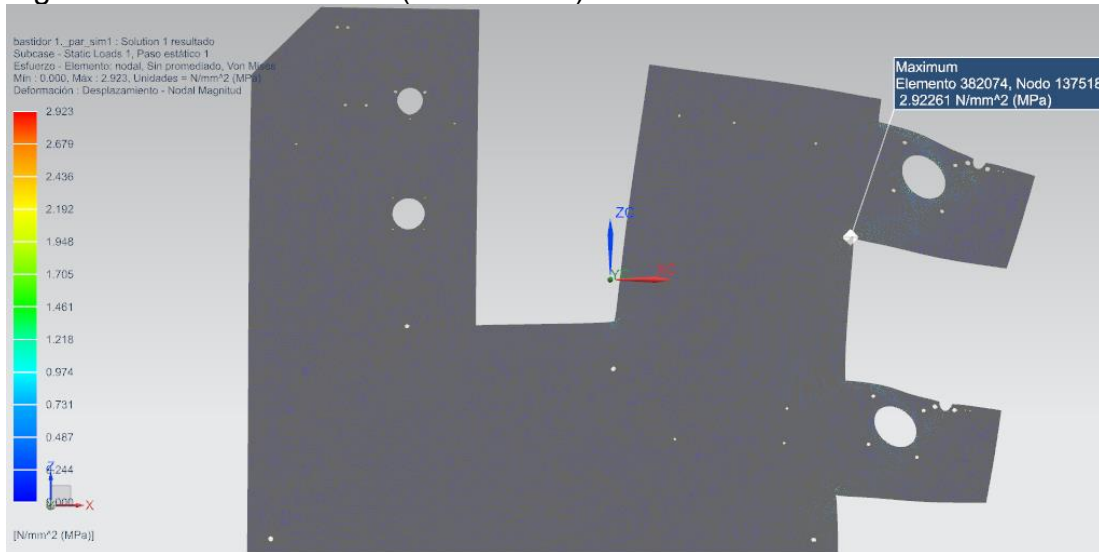
Figura 120. Desplazamiento del bastidor.



Fuente: elaboración propia.

Respecto a las cargas, se debe analizar el esfuerzo von misses, y von misses promedio, dependiendo de la malla a usar, estos dos valores deben aproximarse para conocerse el esfuerzo real de la estructura. El valor de von misses es de 2,923 MPa, y se da en el sistema de alimentación como muestra la siguiente imagen.

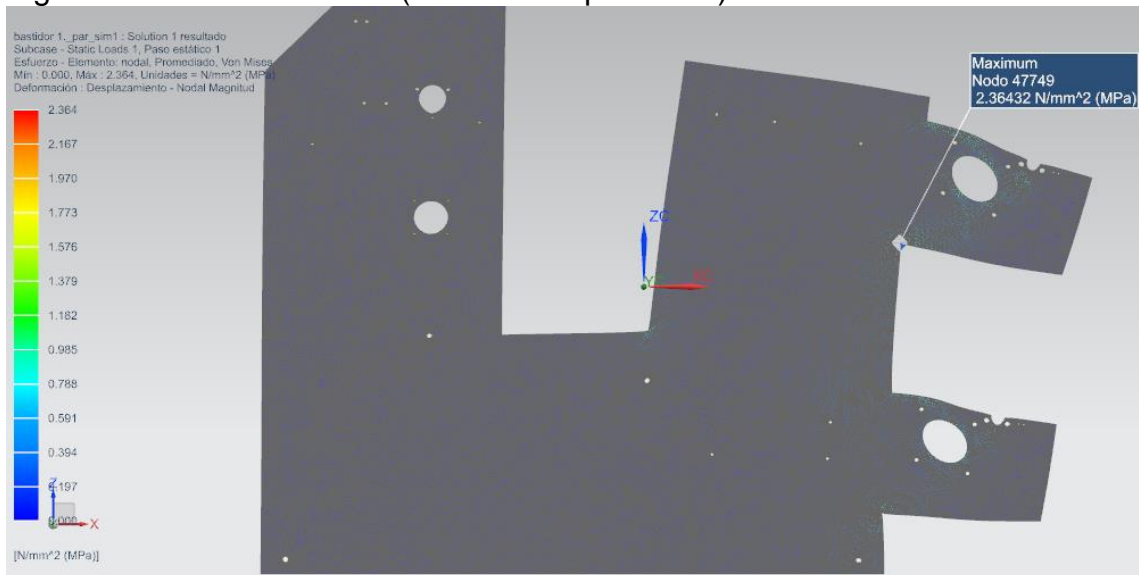
Figura 121. Esfuerzo nodal (Von misses).



Fuente: elaboración propia.

El esfuerzo Von misses promedio tiene un valor de 2,364 MPa

Figura 122. Esfuerzo nodal (Von misses promedio).



Fuente: elaboración propia.

Teniendo en cuenta la información anterior, se debe analizar y observar si la deflexión que es permitida, para ello según McCormac J. C.⁴⁷ “Las deflexiones se deben limitar para evitar daños de los materiales, las deformaciones excesivas generan desconfianza para las estructuras. La Standard americana para edificios ha delimitado las deflexiones por carga viva de servicio a aproximadamente 1/360 de la longitud. Para los casos donde se soporta maquinaria delicada y de precisión, las deflexiones máximas pueden quedar limitadas a 1/1500 o 1/1200 de la longitud.”

Según lo anterior se usará la siguiente ecuación:

Ecuación 40. Deflexión máxima de la estructura.

$$Deflexion\ maxima = \frac{1}{1500} * L = \frac{1}{1500} * (1200\ mm) = 0,8\ mm$$

Fuente: McCormac J. C. y Csernak S.F. Diseño de estructuras de acero. Alfaomega 5ª Edición. México. 2013. 313 p, ISBN: 978 607 707 559 2

Según lo anterior máximo puede existir un desplazamiento de 0,8mm al compararlos con el valor dado de 0,00695 mm se puede observar que la estructura es confiable y apta para su función.

4.6.3. zona de descargue. En esta zona las láminas deben permanecer en orden para esto se va a diseñar una mesa inclinada.

Para el diseño de la mesa inclinada se toma la teoría de los planos inclinados donde.

Ecuación 41. Sumatoria de fuerzas en el eje X.

$$\Sigma F_x = 0$$

$$mg * \sin(\phi) - F_s = 0 \quad (1)$$

Fuente: HIBBELER R. C. Ingeniería mecánica estática. México. Pearson Educación. 2010. 34 p. ISBN: 978-607-442-561-1

Ecuación 42. Sumatoria de fuerzas en el eje Y.

$$\Sigma F_y = 0$$

$$n - mg * \cos(\phi) = 0 \quad (2)$$

$$n = mg * \cos(\phi)$$

$$F_s = \mu * n \quad (3)$$

Fuente: HIBBELER R. C. Ingeniería mecánica estática. México. Pearson Educación. 2010. 34 p. ISBN: 978-607-442-561-1

⁴⁷ McCormac J. C. y Csernak S.F. Diseño de estructuras de acero. AlfaOmega 5ª Edición. Mexico. 2013. 724 p. ISBN: 978 607 707 559 2

$$(3) \text{ en } (1) \\ mg \sin(\varnothing) - \mu * n = 0$$

$$(2) \text{ en } (1) \\ mg \sin(\varnothing) - \mu * mg * \cos(\varnothing) = 0$$

$$\sin(\varnothing) = \mu * \cos(\varnothing)$$

$$\tan(\varnothing) = \mu$$

$$\varnothing = \tan^{-1}(\mu)$$

Teniendo en cuenta los coeficientes de fricción de los materiales empleados al tomar sistemas críticos se debe tomar el mayor ángulo de inclinación

Tabla 52. Coeficientes de fricción de los materiales en que se fabrica las láminas.

Material	Coefficiente de fricción
PVC	0,60
PET	0,25
PP	0,3

Fuente: elaboración propia. Octubre de 2019. Bogotá D.C.
Basado en información recolectada en el capítulo 1.

Angulo necesario para el deslizamiento del P.V.C.

$$\varnothing = \tan^{-1}(0,6) = 30,96^\circ$$

Angulo necesario para el deslizamiento del P.E.T.

$$\varnothing = \tan^{-1}(0,25) = 14,03^\circ$$

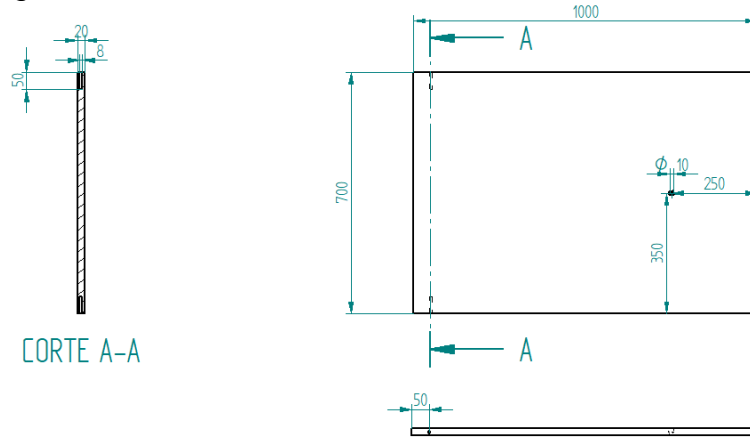
Angulo necesario para el deslizamiento del P.P.

$$\varnothing = \tan^{-1}(0,3) = 16,7^\circ$$

Debido a que los ángulos varían en gran proporción, se ha optado por una mesa la cual se pueda cambiar de ángulo, para ellos se diseña una mesa la cual posee la mesa o tabla, un tubo, un eje y un acople, a continuación, se presentan las medidas de los elementos.

Mesa. Estará sujeta directamente al bastidor por lo cual tendrá agujeros con rosca M8, con las siguientes dimensiones.

Figura 123. Mesa o tabla.



Fuente: elaboración propia.

Dimensiones máximas.

Largo. 1000 mm
Ancho. 700 mm
Espesor. 20 mm

En el extremo que no está sujeto al bastidor, se debe ubicar una pata, compuesta por el eje, cilindro o tubo, y soporte de unión.

Eje. Posee una longitud máxima de 500 mm y un diámetro de 1 in o 25,4 mm, además en un extremo se acoplará un tornillo M10. Para conocer las dimensiones faltantes consultar el plano 39.

Cilindro. Posee una longitud de 480 mm diámetro nominal de 1 in, y diámetro externo 33,4 mm. Para conocer de mejor manera las dimensiones consultar el plano 40.

Figura 124. Catalogo Acero inoxidable West. Tubería Schedule 80.

Tubería SCHEDULE 80 con Costura

Diámetro Nominal	Diámetro Externo		SCH 80						
	NPS	pg	mm	Grosor pg	Pared mm	Presión Int. Trab. PSI	Peso Aprox. Kg/m	Lb/pie	Kg/m
1	1.315"	33.4	0.179"	4.55	4689	342	7,89	3.24	

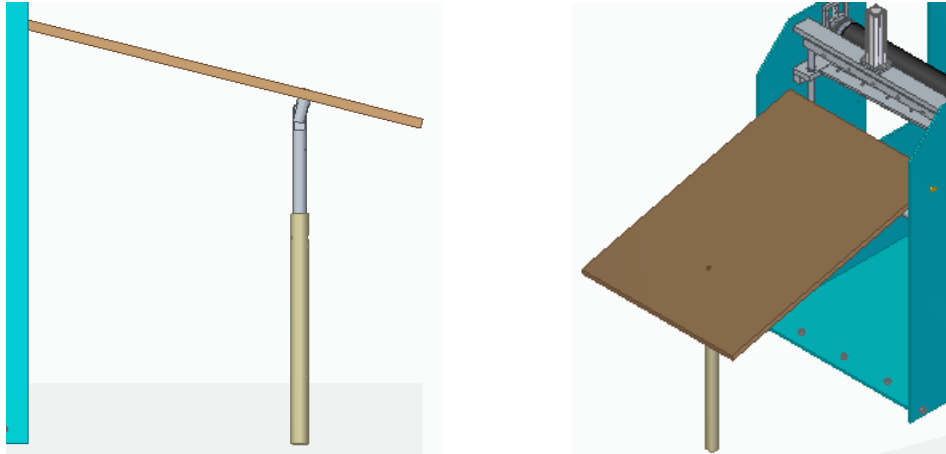
NORMA: ASTM A312

Fuente: ACERO INOXIDABLE WESCO. [En línea]. Bogotá D.C. 2019. [Consultado el 5 de octubre de 2019]. Disponible en: <https://www.wesco.com.co/default.asp?ilD=GFLJKE>

Unión de la mesa, es un tubo de 50 mm de largo, con un diámetro de 1 in, en uno de sus extremos posee un roscado M10. Y posee un agujero de 10 mm de diámetro.

Al acoplar los elementos de la zona de descargue el sistema queda de la siguiente manera.

Figura 125. Mesa inclinada.



Fuente: elaboración propia.

4.7 SISTEMA DE CONTROL

La secuencia del sistema comienza con la activación del motor paso a paso, a este se le debe programar el ángulo a recorrer con la tarjeta driver JK2M2283 explicada en el numeral 4.7.2, a continuación, el motor se detiene y el encoder manda una señal a la electroválvula la cual dará paso a la activación del cilindro neumático, una

vez el cilindro neumático se activa mediante un temporizador se da la orden del retroceso, al retroceder se dará inicio al nuevo ciclo.

Para el sistema de control se realizó un sistema secuencial electroneumático, cuyos componentes principales son: el sistema neumático, PLC, tarjeta driver del motor paso a paso y un encoder.

5.3.10 PLC. Es llamado controlador lógico programable consiste en una computadora que automatiza procesos.

Es el sistema que generara el proceso secuencial en la máquina, es muy flexibles y permitirá la unión de todo el sistema es decir es decir el sistema neumático con el motor y su respectiva tarjeta.

5.3.11 Tarjeta driver. Es la tarjeta que controla las variables que programan el motor, estas variables son:

- la velocidad,
- el ángulo de avance.

La tarjeta controladora del motor paso a paso seleccionada es JK2M2283 según su fabricante.

Tabla 53. Datos generales Tarjeta controladora JK2M2283

Detalles rápidos

Lugar del origen:	Jiangsu, China
Marca:	JK
Número de Modelo:	JK2M2283
Tipo de motor:	Motor paso a paso
La corriente de salida:	2-8ª
Tensión de entrada:	150-240VAC
Paso a paso de frecuencia de pulso:	0-200 kHz
Resistencia de aislamiento:	100M Ω ;
Temperatura de almacenamiento:	-20°C ~ 80°C
Usando la altitud:	Por debajo de los 1000 metros

Fuente: jkong-motor. Shanghái. 2019. [Consultado el 9 de octubre de 2019]. Consultado en: <http://m.jkong-motor.com/quality-11044224d-single-shaft-hybrid-stepper-motor-3256-oz-in-6a-nema-42-stepper-motor>

Figura 126. Tarjeta JK2M2283



Fuente: Fuente: jkong-motor. Shanghai. 2019. [Consultado el 9 de octubre de 2019]. Consultado en: <http://m.jkong-motor.com/quality-11044224d-single-shaft-hybrid-stepper-motor-3256-oz-in-6a-nema-42-stepper-motor>

Figura 127. Parámetros tarjeta JK2M2283

Parámetro	.	Típico	Max	Unidad
Voltaje de entrada (CA)	150	-	220	VAC
Corriente de salida	0	-	8,3	Un
Señal de pulso de frecuencia	0	-	200	KHZ
La señal lógica actual	7	10	16	MA

Fuente: Fuente: jkong-motor. Shanghai. 2019. [Consultado el 9 de octubre de 2019]. Consultado en: <http://m.jkong-motor.com/quality-11044224d-single-shaft-hybrid-stepper-motor-3256-oz-in-6a-nema-42-stepper-motor>

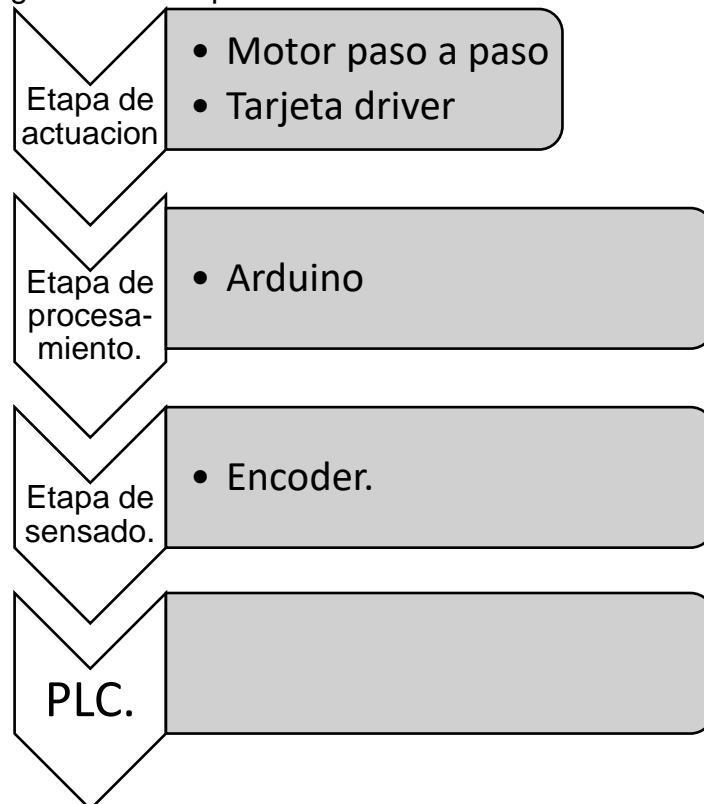
5.3.12 Encoder. “Es un dispositivo de detección que proporciona una respuesta. Los Encoder convierten el movimiento en una señal eléctrica que puede ser leída por algún tipo de dispositivo de control en un sistema de control de movimiento, tal como un mostrador o PLC. El encoder envía una señal de respuesta que puede ser utilizado para determinar la posición, contar, velocidad o dirección. Un dispositivo de control puede usar esta información para enviar un comando para una función particular.”⁴⁸

⁴⁸ ENCODER PRODUCTS COMPANY. [Sitio web]. 2016. México. [Consultado el 6 de octubre de 2019]. Consultado en: http://encoder.com/es_mx/blog/encoder-basics/que-es-un-encoder/

Este dispositivo es el encargado de dar la señal al sistema electroneumático para el accionamiento del cilindro neumático al momento de terminar el giro de avance del motor.

La conexión entre estos elementos se da de la siguiente manera:

Diagrama 28. Etapas del Sistema de control.



Fuente: elaboración propia.

Conexión. Se inicia con el motor paso a paso Ref. JK2M2283 el cual posee 4 pines de salida, conectados directamente a la tarjeta driver Ref. JK2M2283. A su vez la tarjeta driver posee 5 pines de salida, conectados a la entrada del Arduino. Por ultimo las 3 salidas del Arduino iran conectadas al encoder y este a su vez con su única salida al PLC.

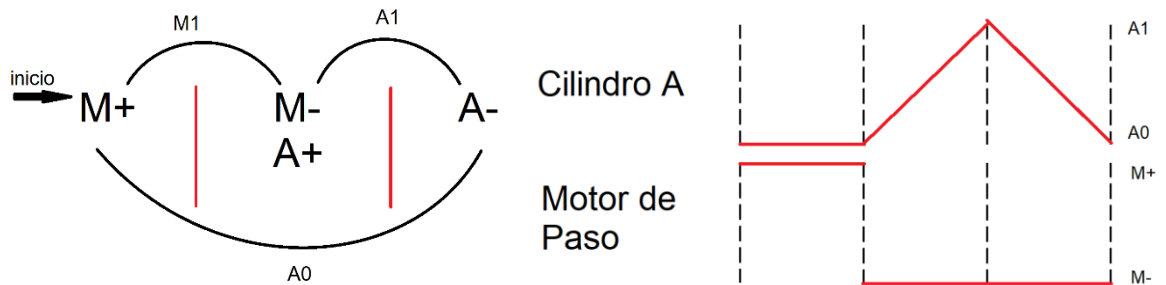
Adicionalmente la tarjeta driver, el Arduino y el encoder van conectados a la fuente de potencia.

Lo anterior es con el fin de realizar la conexión entre el motor y el encoder encargado de dar la señal al para el accionamiento del cilindro neumático como se muestra a continuación.

5.3.13 Diagrama electroneumático. El sistema se manejará por medio de un PLC el cual tendrá la siguiente secuencia neumática.

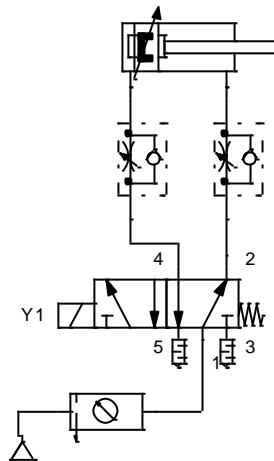
M+, M-, A-
A+

Figura 128. Secuencia neumática.



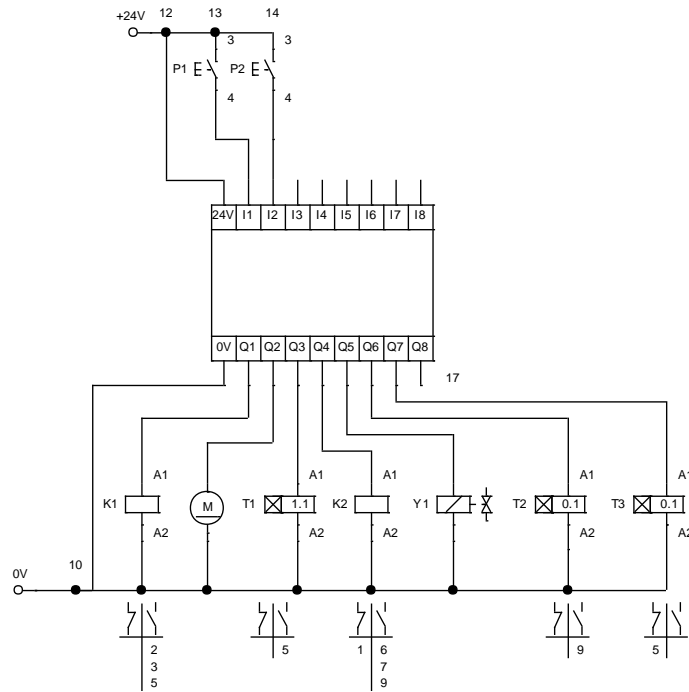
Fuente: elaboración propia.

Figura 129. Conexión neumática.



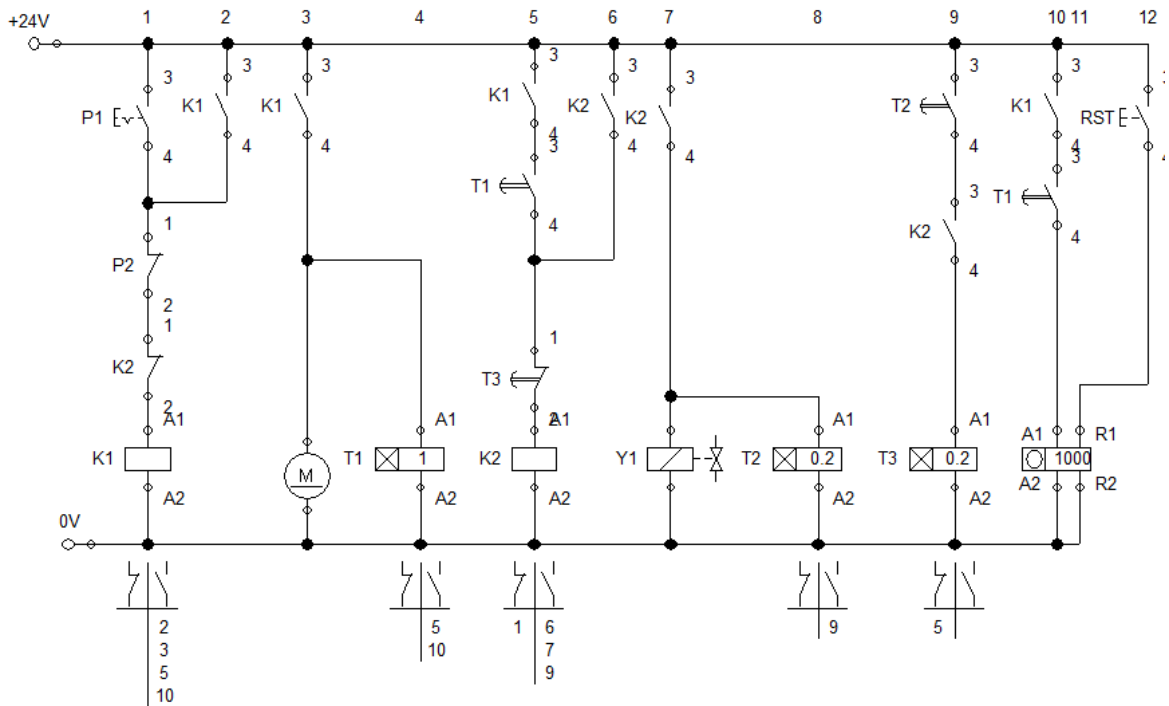
Fuente: elaboración propia.

Figura 130. Conexión al controlador lógico programable.



Fuente: elaboración propia.

Figura 131. Diagrama eléctrico.

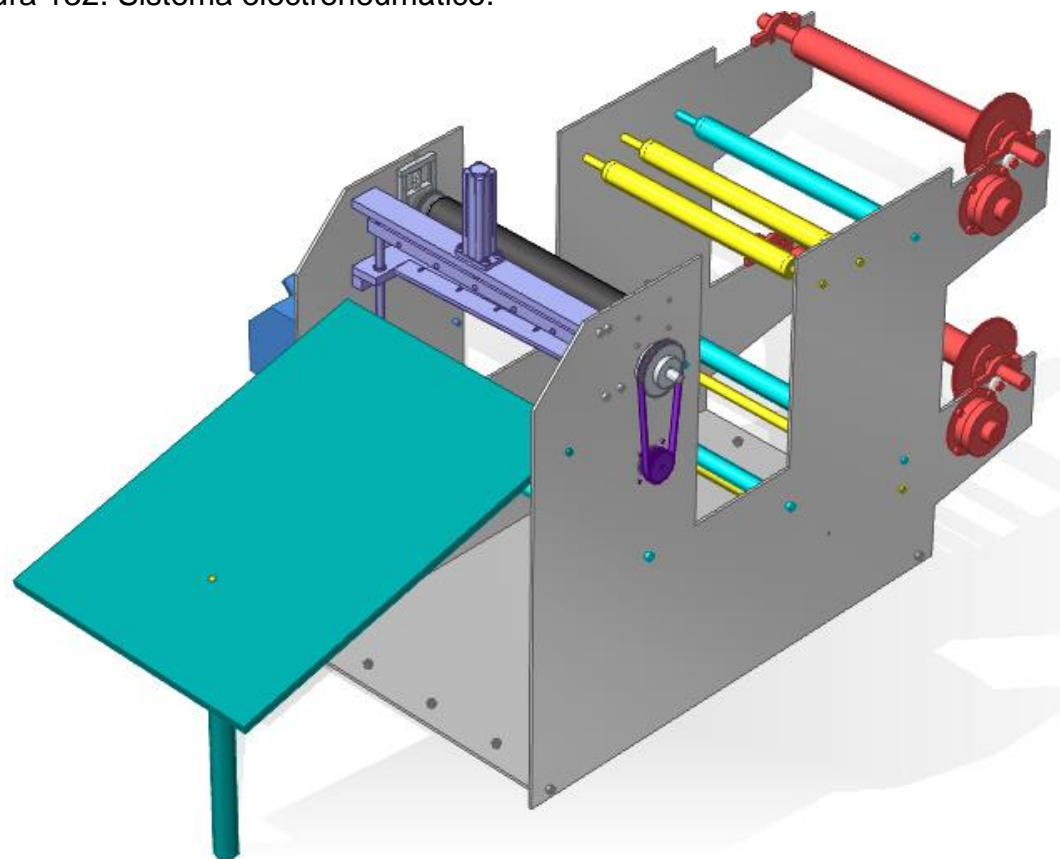











Fuente: elaboración propia.

4.7 DISEÑO FINAL

En la figura 142 se puede observar la máquina una vez se ha realizado su ensamble, en esta sección se puede encontrar los sistemas representados por un color: en este caso los elementos como las guardas de seguridad del sistema de potencia y de corte no se ubican para poder observar interiormente los sistemas. Para observación de la máquina de manera más detallada dirigirse al plano 47. En el anexo D.

Figura 132. Sistema electroneumático.



	Sistema de dosificación		Sistema de Control.
	Sistema de Corte.		Zona de descargue.
	Sistema de potencia.		Elementos complementarios del sistema
	Sistema de alimentación.		Estructura
	Sistema de control de tensión.		

Fuente: elaboración propia.

5. MANUALES

Para garantizar el óptimo funcionamiento y construcción de la máquina es de gran importancia el empleo de manuales, principalmente manuales de instalación operación y mantenimiento debido a que el correcto uso y cuidado, ayuda a la vida útil de la máquina y sus elementos. Además, que ayuda a evitar posibles accidentes laborales.

5.4 MANUAL DE INSTALACIÓN Y ENSAMBLE.

Instalación.

Para la instalación de la maquina cortadora de láminas de empaque flexible para flores, se debe tener en cuenta la ubicación, inicialmente el cumplimiento de las dimensiones de 4,60m x 3 m, con buena iluminación, inclinación 0° y un fácil acceso a la maquina especialmente la zona de descargue y alimentación de la máquina.

Se deben considerar la zona de delimitación de seguridad que es considerado 1 m por cada lado para realizar mantenimiento, limpieza y enhebrado de la lámina.

El espacio debe contar con:

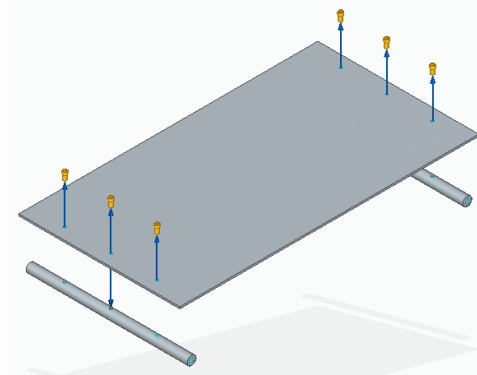
- Piso completamente nivelado y firme
- Conexión eléctrica trifásica, 220v y que frecuencia 60 Hz
- Contar una terminal de línea neumática (compresor) para alimentar la unidad de mantenimiento del sistema de corte y una manguera en espiral en conjunto con una pistola de acople para los ejes neumáticos expansibles.

Una vez se cumplen con dichos parámetros se debe proceder al ensamble de la maquina en el sitio, donde hay que comprobar que las piezas estén completas y en perfecto estado.

Ensamble. El presente manual indica el modo correcto de ensamble de la máquina, para así garantizar un correcto funcionamiento. Para comenzar con la instalación se debe ensamblar el bastidor.

1. Por medio de tornillos M12 x1.5 - 25 sujetar la placa inferior a los separadores inferiores.

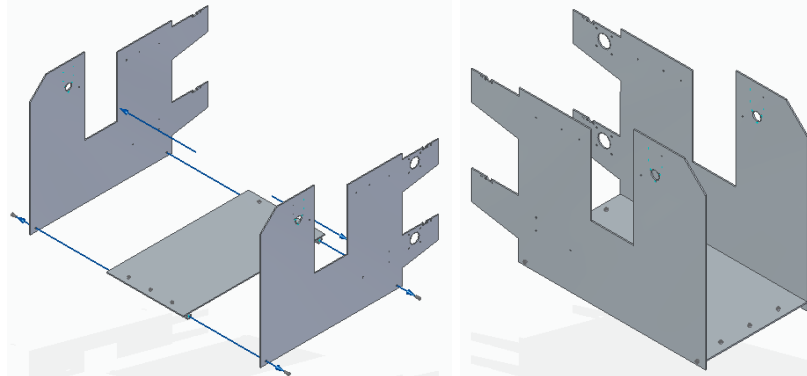
Figura 133. Sujeción con tornillos del bastidor inferior.



Fuente: elaboración propia.

2. Ubicar los bastidores de forma paralela para así unirlos por medio de tornillos M12 x1.5 – 25 al soporte inferior.

Figura 134. Posición de los bastidores.



Fuente: elaboración propia.

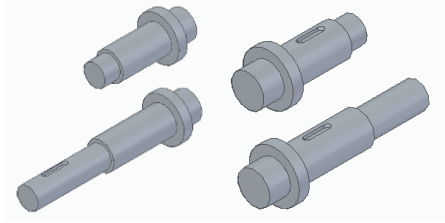
A continuación, se deben ensamblar los demás sistemas al bastidor comenzando con el sistema de dosificación.

5.4.1 Montaje del sistema de dosificación. El sistema de dosificación está compuesto principalmente por los rodillos de presión y sus respectivos apoyos, para comenzar con la instalación se deben ensamblar los rodillos:

5.4.1.1 Ensamble de rodillos de presión.

1. Soldar las placas laterales circulares a los ejes de cada cilindro.

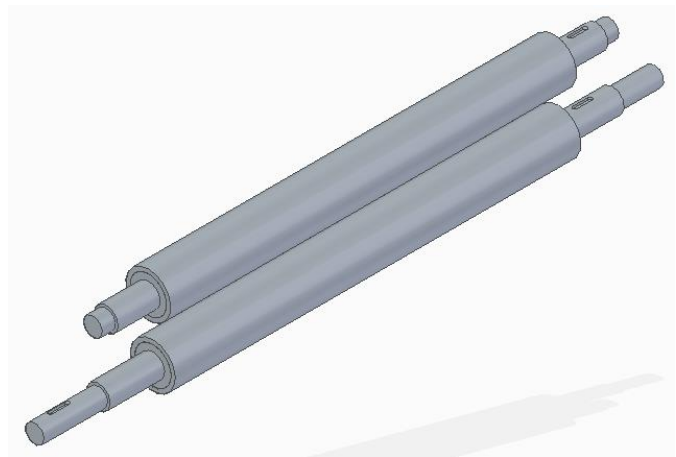
Figura 135. Ejes soldados a las placas laterales.



Fuente: elaboración propia.

2. Soldar las placas laterales a los tubos

Figura 136. Rodillos de presión soldados.



Fuente: elaboración propia.

3. Realizar el mecanizado de los ejes laterales.

4. Encauchar los tubos hasta tener un diámetro de 80mm.

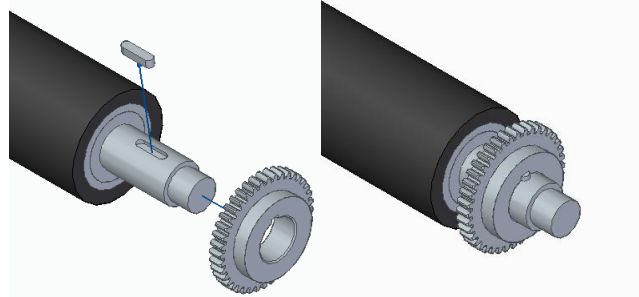
Figura 137. Rodillos encauchados.



Fuente: elaboración propia.

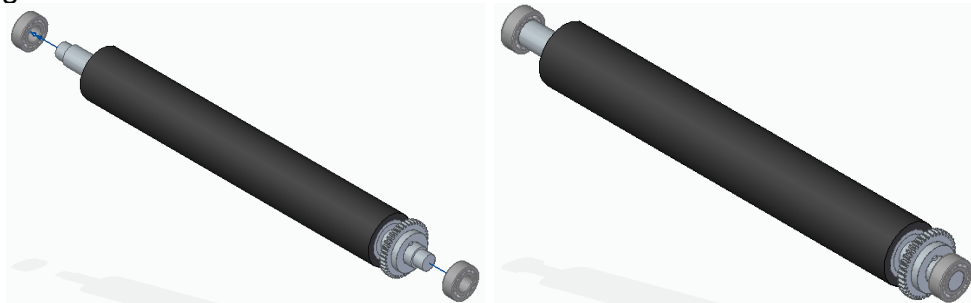
5. Acoplar a cada rodillo los engranes y chavetas que permitirá la transmisión de movimiento entre ellos posteriormente se ajustan los rodamientos.

Figura 138. Engranes para la transmisión de movimiento.



Fuente: elaboración propia.

Figura 139. Ubicar los rodamientos.

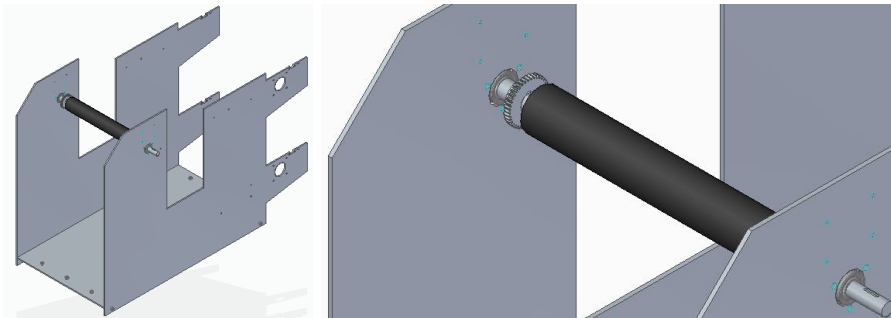


Fuente: elaboración propia.

5.1.1.2. Ensamble del sistema al bastidor.

1. Acomodar el rodillo inferior al bastidor.

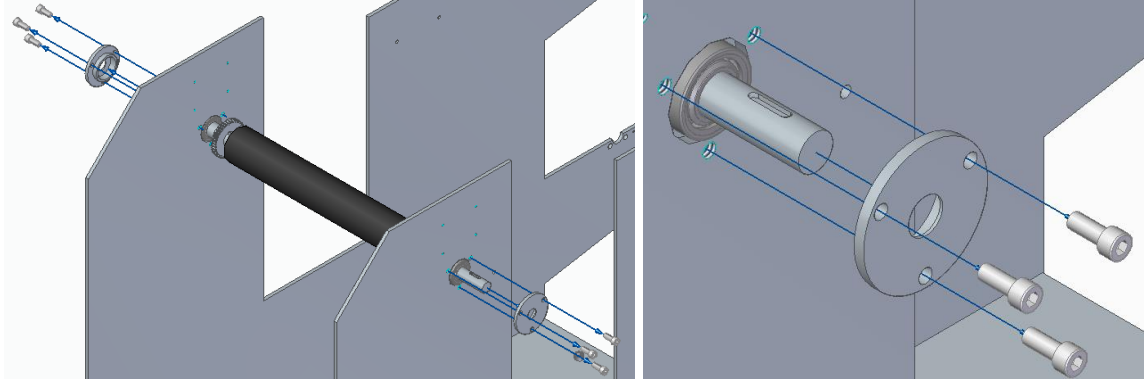
Figura 140. Rodillo acomodado en el bastidor.



Fuente: elaboración propia.

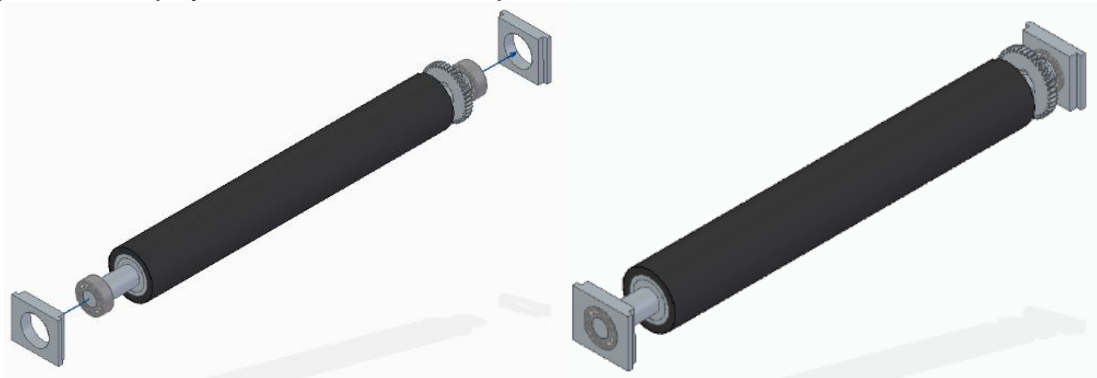
2. Acoplar los apoyos de rodamientos a los rodamientos de los rodillos de presión.

Figura 141. Apoyo de rodamientos inferior.



Fuente: elaboración propia.

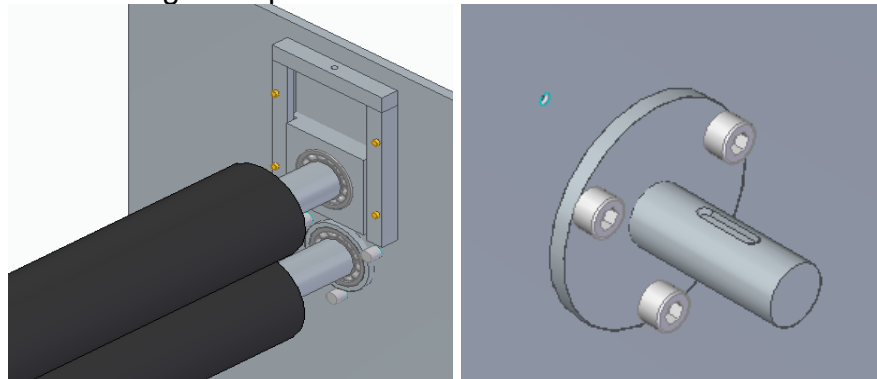
Figura 142. Apoyo de rodamientos superior.



Fuente: elaboración propia.

3. Acoplar los apoyos de rodamientos al bastidor. Para el rodillo de presión superior, se debe usar tornillos M 5 para ajustar al bastidor; Para el rodillo de presión inferior se debe usar rodillos M 10 para ajustar al bastidor.

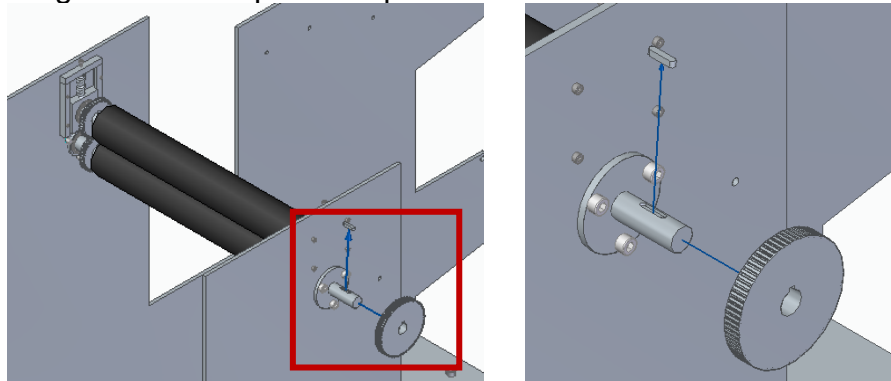
Figura 143. Engranajes para la transmisión de movimiento.



Fuente: elaboración propia.

4. Acoplar la polea sincrónica y su respectiva chaveta para la transmisión desde el motor en el rodillo inferior.

Figura 144. Acople de la polea sincrónica.

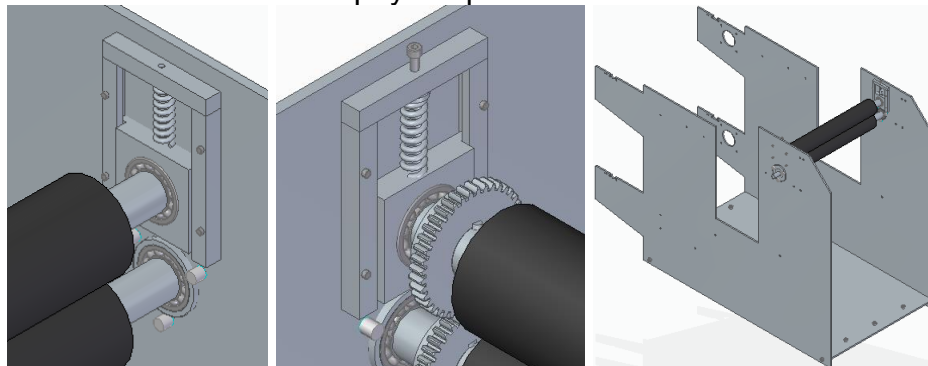


Fuente: elaboración propia.

5.1.1.3. Apoyos de rodamientos.

1. Al apoyo de rodamientos superior se le deben anexar elementos como: un tope de resorte, un resorte y un tornillo.

Figura 145. Elementos del apoyo superior.



Fuente: elaboración propia.

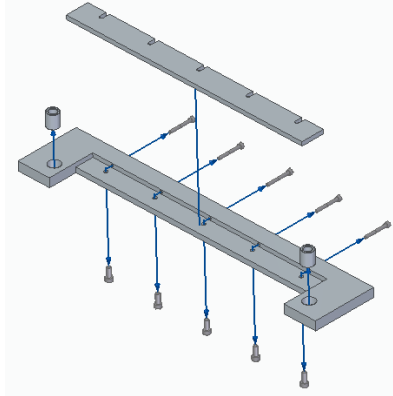
Una vez se tiene el sistema de dosificación se pasará al sistema de corte.

5.1.2. Montaje del sistema de corte. El sistema de corte está dividido en dos secciones una superior y una inferior.

Sección inferior.

1. Se debe acoplar y asegurar el rodamiento lineal y la cuchilla inferior a la base inferior.

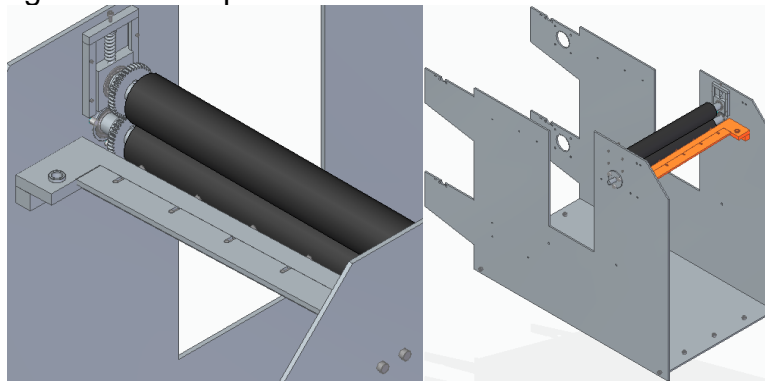
Figura 146. Ensamble sistema de corte inferior.



Fuente: elaboración propia.

2. Asegurar la base inferior al bastidor, por medio de tornillos M 10

Figura 147. Acople al bastidor del sistema de corte inferior.

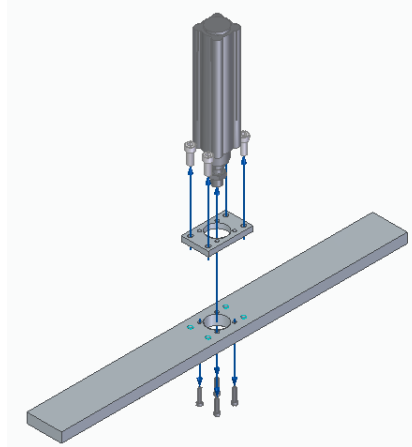


Fuente: elaboración propia.

Sección superior.

1. Ajustar el cilindro neumático al Flanche y a su vez al soporte superior.

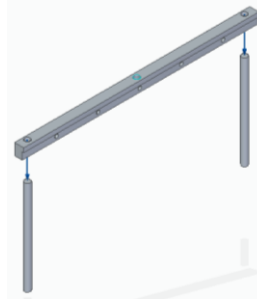
Figura 148. Cilindro neumático, Flanche y base superior.



Fuente: elaboración propia.

2. Soldar las guías laterales al porta cuchillas superior.

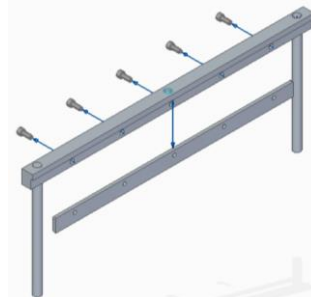
Figura 149. Guías laterales.



Fuente: elaboración propia.

3. Asegurar la cuchilla al Apoyo de la cuchilla.

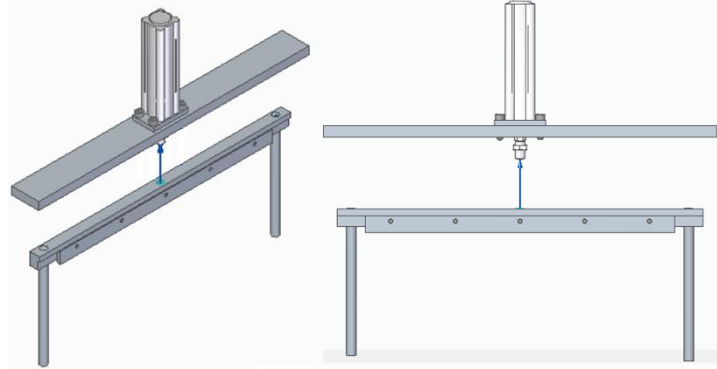
Figura 150. Acople de la cuchilla superior.



Fuente: elaboración propia.

4. Asegurar el apoyo de la cuchilla superior al extremo del cilindro neumático.

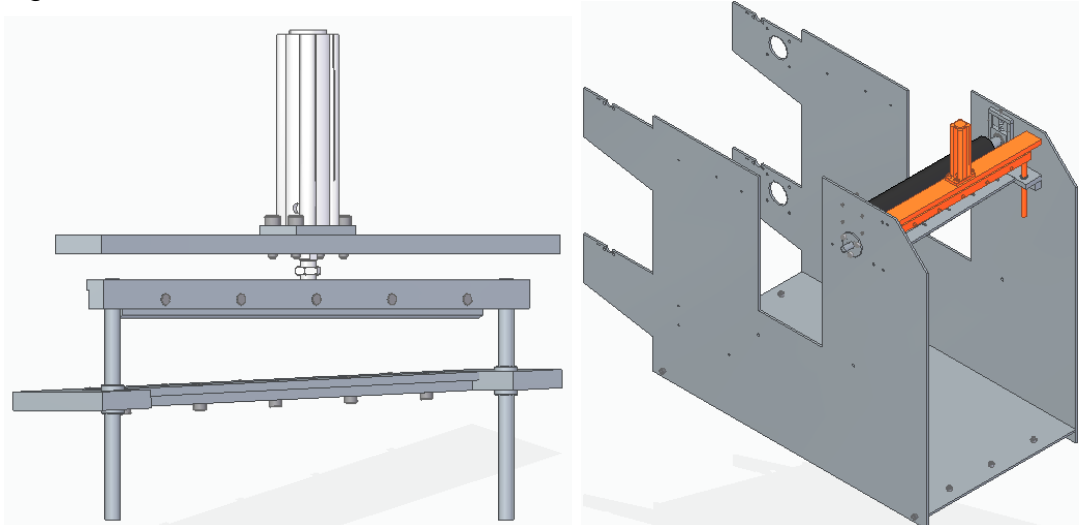
Figura 151. Acople del cilindro neumático al apoyo de la cuchilla.



Fuente: elaboración propia.

5. Asegurar el soporte superior al bastidor, teniendo en cuenta acoplar las guías laterales con los rodamientos lineales.

Figura 152. Ensamble del sistema del corte al bastidor.

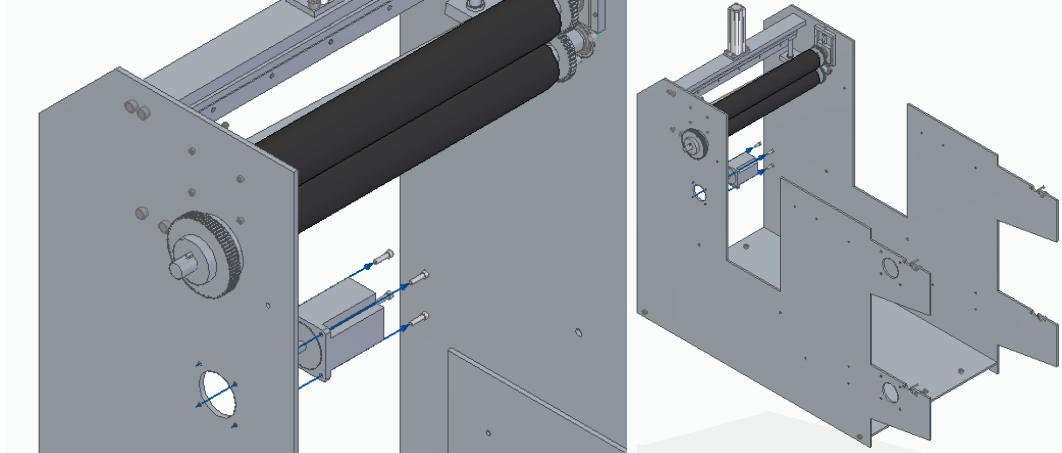


Fuente: elaboración propia.

5.1.3. Montaje del sistema de potencia.

1. Asegurar el motor al bastidor por medio de tornillos M6

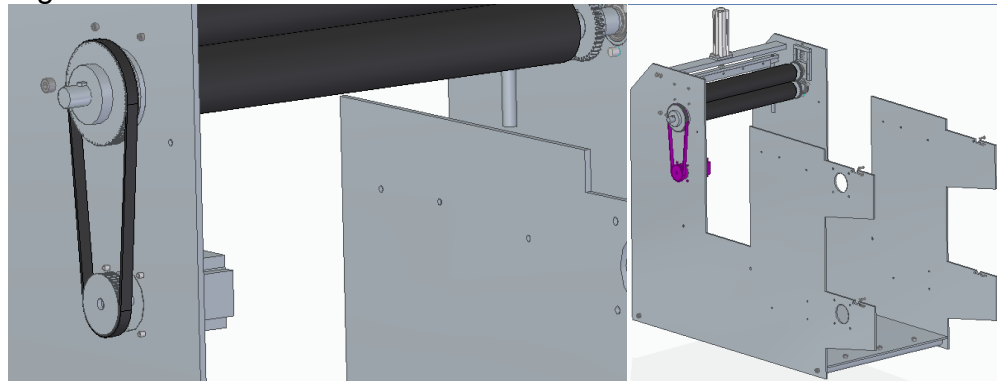
Figura 153. Motor paso a paso, acoplado al bastidor.



Fuente: elaboración propia.

2. En el extremo del eje, se deben acoplar los elementos de transmisión (engrane, chaveta)

Figura 154. Elementos de transmisión.



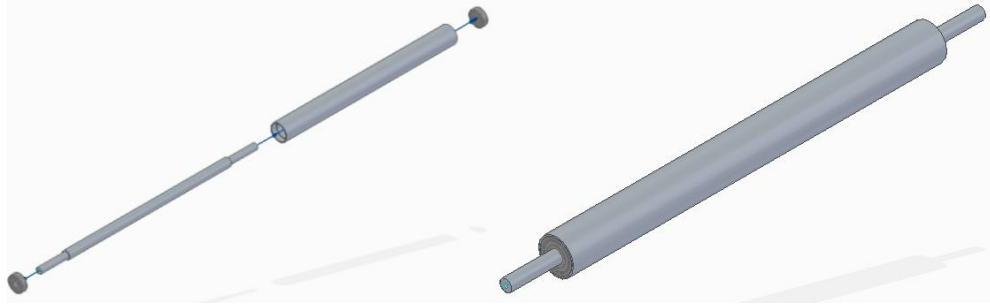
Fuente: elaboración propia.

3. Acoplar la cadena con el engrane del sistema de dosificación.

5.4.2 Montaje del control de tensión

1. Acoplar el cilindro de aluminio con el eje y el rodamiento.

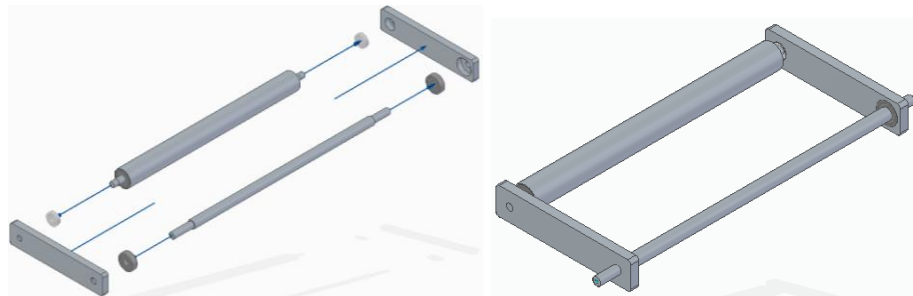
Figura 155. Rodillo balancín.



Fuente: elaboración propia.

2. Acoplar el brazo con el rodillo inferior y su vez el otro extremo del brazo al eje

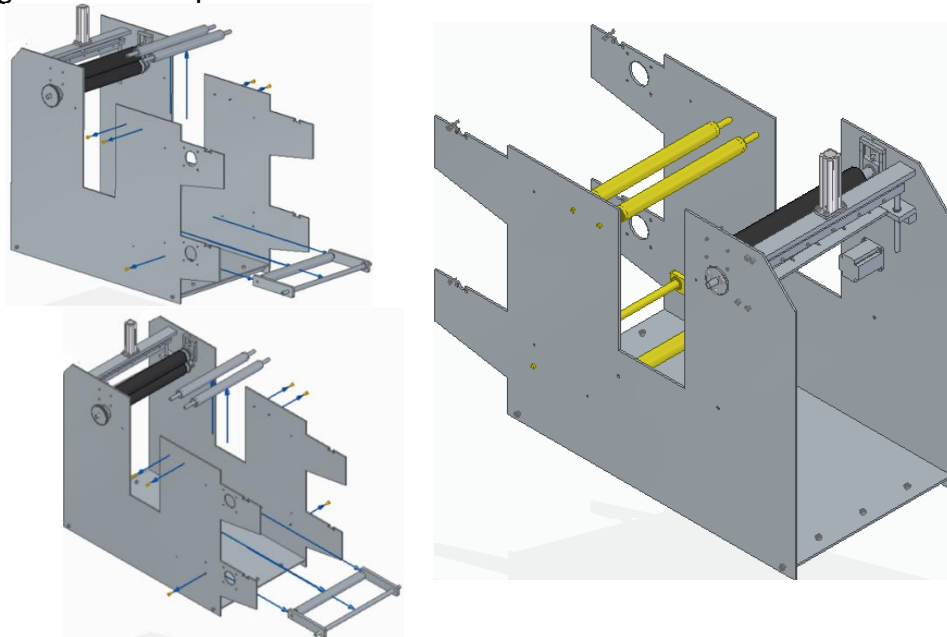
Figura 156. Rodillo inferior con brazo móvil.



Fuente: elaboración propia.

3. Asegurar el ensamble anterior con tornillos M8

Figura 157. Acople de los rodillos balancín al bastidor.

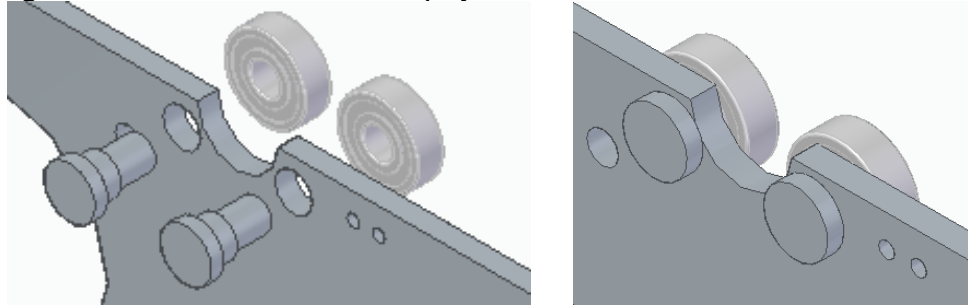


Fuente: elaboración propia.

5.4.3 Montaje del sistema de alimentación

1. Asegurar los rodamientos de los apoyos mediante los ejes.

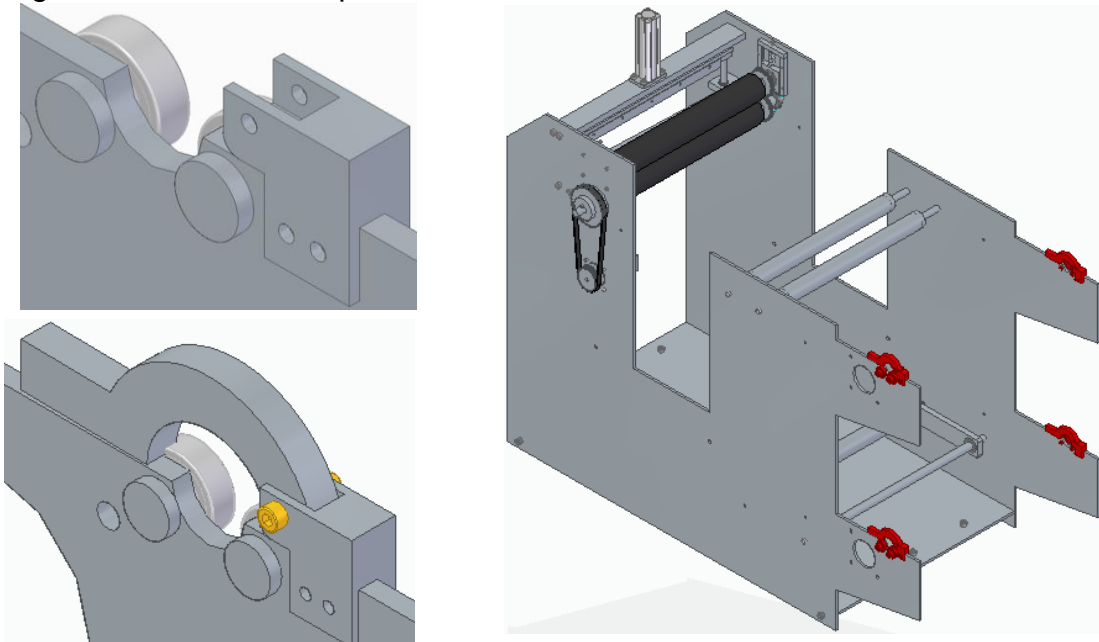
Figura 158. Rodamientos de apoyo.



Fuente: elaboración propia.

2. Asegurar la cubierta superior y la tapa o bisagra lateral con tornillos M5.

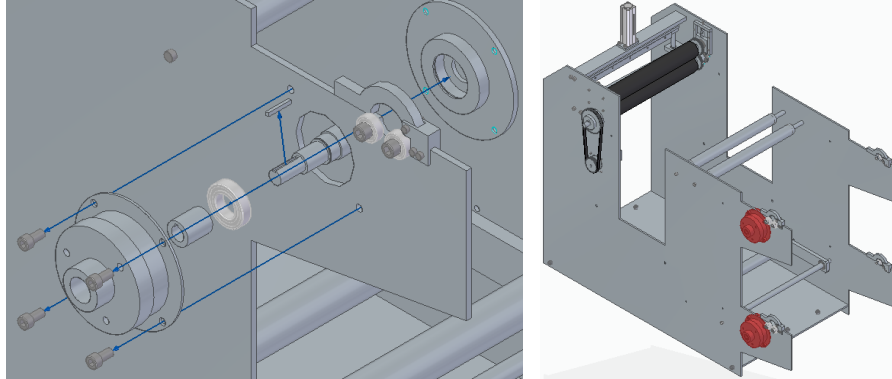
Figura 159. Cubierta superior.



Fuente: elaboración propia.

3. Ubicar el eje del freno, acoplar el rodamiento y el buje, a su vez, acoplar el Flanche y el freno, asegurándolo con tornillos M10

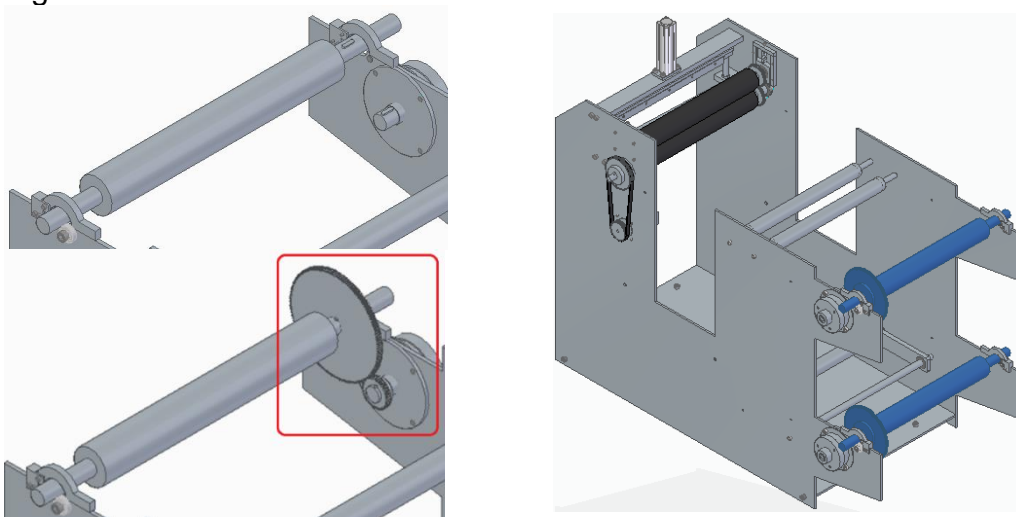
Figura 160. Freno electromagnético.



Fuente: elaboración propia.

4. En el eje del freno y el eje neumático expansible se ubicará el engrane y chaveta correspondiente

Figura 161. Transmisión.

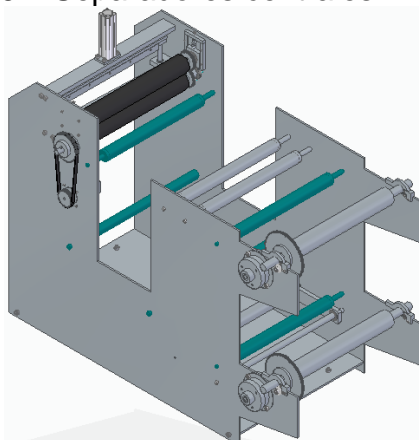


Fuente: elaboración propia.

Elementos adicionales.

1. Acoplar al bastidor la unidad de mantenimiento y el PLC.
2. Realizar la conexión de los elementos neumáticos (mangueras, válvula 5/2, unidad de mantenimiento)
3. Ubicar los separadores centrales de la máquina. (Figura N) elementos amarillos.

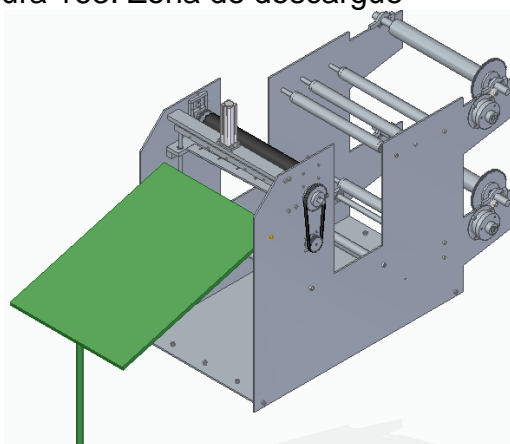
Figura 162. Separadores centrales.



Fuente: elaboración propia.

4. Ubicar la mesa como se muestra en la siguiente figura.

Figura 163. Zona de descargue



Fuente: elaboración propia.

5.5 MANUAL DE OPERACIÓN.

Para el uso adecuado de la máquina se deben seguir las siguientes indicaciones durante todo el proceso de manipulación de la máquina:

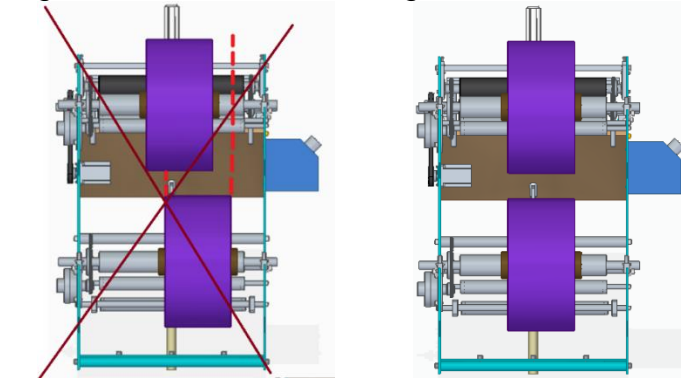
Antes de iniciar hay que realizar una inspección visual.

1. Revisar que no haya obstrucción en la trayectoria y el recorrido de la cuchilla.
2. Verificar que la cuchilla se encuentre correctamente asegurada.
3. Revisar que no haya obstrucción en los rodillos de presión.

Actividades previas.

1. Energizar el sistema y el compresor.
2. Dar paso al aire del sistema neumático
3. Ubicar las bobinas en el sistema de alimentación.
4. Revisar que las bobinas estén alineadas de forma correcta. E inflar los rodillos.

Figura 164. Zona de descargue



Fuente: elaboración propia.

5. Enhebrar las láminas a través del control de tensión y los rodillos de presión.

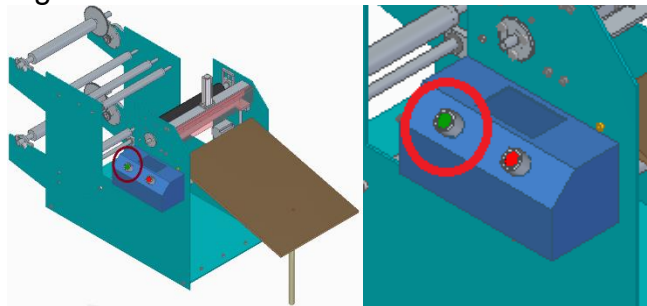
Recomendaciones de seguridad.

1. La máquina debe ser manipulada por persona previamente capacitado en la empresa.
2. Por su seguridad, no debe introducir las manos o elementos en las partes móviles especialmente la cuchilla de corte.

Para iniciar.

1. Para iniciar la máquina debe oprimir el botón “encendido”.

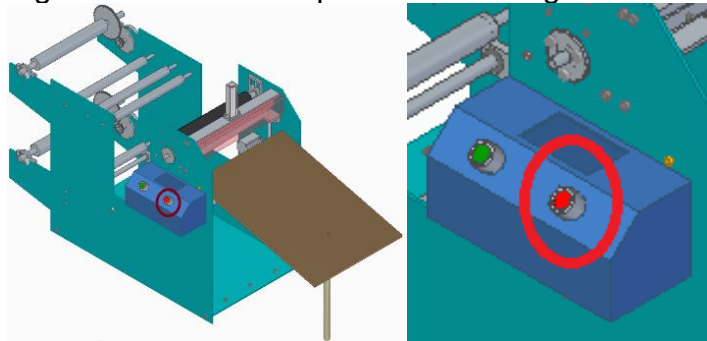
Figura 165. Botón de encendido



Fuente: elaboración propia

2. Para detener la máquina o en caso de emergencia oprimir el botón off, ubicado en la posición que indica la Figura 175.

Figura 166. Parada o parada de emergencia.



Fuente: elaboración propia

Al momento de acabar la bobina se debe detener la máquina retirar las láminas cortadas, posicionar una nueva bobina, enhebrar la lámina e iniciar el proceso de nuevo.

EQUIPO DE PROTECCION PERSONAL

Tabla 54. Equipo de protección personal.

Equipo de protección personal				
Parte a proteger	Equipo de protección.	de	Características	Barrera
Cabeza	Cofia.		Empresas con maquinaria con partes móviles sin guardas.	Posible atrapamiento de cabello largo.
Ojos	Gafas de seguridad	de	Empresas que trabajan con aire comprimido	Protección de algún golpe en caso de que una manguera se suelte

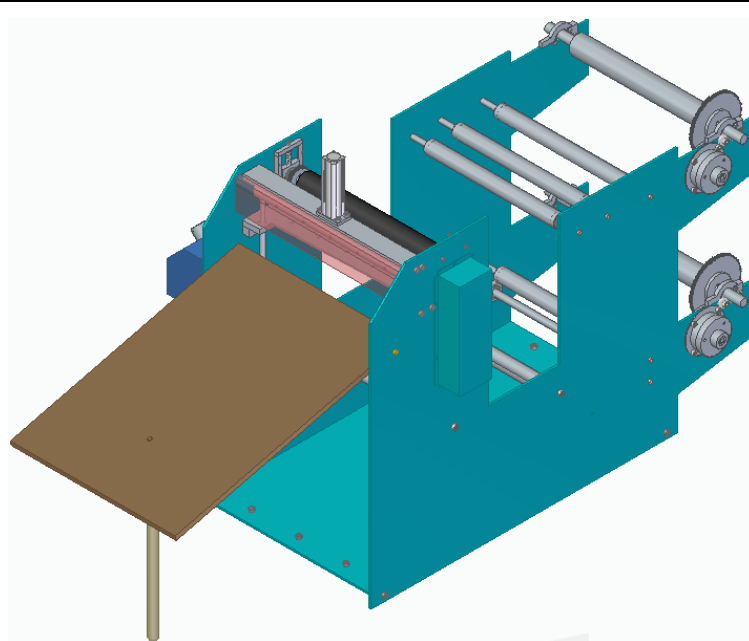
Fuente: Elaboración propia.

5.6 MANUAL DE MANTENIMIENTO.

El manual de mantenimiento es aquel manual que nos ayudara a alargar la vida útil y evitar daños y/o paradas inesperadas. Para el correcto funcionamiento de la máquina se debe conocer de forma correcta los sistemas y subsistemas del equipo, es por esto que se ha diseñado una dicha técnica con las principales características.

Tabla 55. Ficha técnica.

MÁQUINA CORTADORA DE LÁMINAS DE EMPAQUE FLEXIBLE.



CORTADORA DE GUILLOTINA ELECTRONEUMÁTICA.

Datos técnicos

Potencia (HP)	1,91
Torque Max (Nm)	8.7
Ángulo (°)	1,8

Dimensiones generales.

Longitud (m)	2.5
Ancho (m)	0,84
Altura (m)	1.3

Características principales

Motor tipo:	Paso a paso
Longitud de corte (cm)	50-80
Ciclos/min	44
Numero de bobinas	2

DESCRIPCIÓN

La máquina cortadora tiene como función el corte y/o cizallamiento de láminas flexibles de Polímeros, al realizar el accionamiento de la guillotina electroneumática.

CARACTERÍSTICAS

- La máquina posee un sistema de alimentación con dos ejes neumáticos expansibles de 50Kg de capacidad.
- Posee un motor paso a paso que le permite regular la velocidad y la medida de las láminas a ser cortadas.
- La guillotina de corte, tienen un accionamiento electroneumático
- Ancho de trabajo 550 mm
- Altura de la zona de descargue. 90cm

Fuente: elaboración propia.

Para la máquina cortadora de láminas para empaque de flores se optó por un mantenimiento preventivo para llevarlo a cabo se debe realizar un plan de mantenimiento donde se realizará una lista de fallas e inspecciones a realizar para así lograr un óptimo funcionamiento y disponibilidad. A continuación, se presentan las fallas más comunes que puede presentar la máquina.

Cuadro 8. Inspecciones.

INSPECCIONES				
Sis.	Elemento	Inspección	Falla	Periodicidad
Dosisficator	Rodamientos	Lubricación	Dificultades en el giro de los rodillos de presión.	Semanal
	Rodillos de presión	Visual. Elementos entre los rodillos.	Daño del caucho de los rodillos de presión.	Diario.
Corte	Cuchilla	Visual, examinar la calidad de las láminas.	No hay corte de láminas. Ajuste. Filo de la cuchilla	Quincenal.
	Sistema neumático	Presión, Válvulas y conexiones	Fugas en el sistema neumático.	Semanal
	Cilindro neumático.	Visual.	El cilindro neumático no se acciona	Diario
Alimentación	Rodamientos	Lubricación	Dificultades en el giro del eje neumático expansible.	Diario
	Eje neumático expansible.	Visual. Examinar el accionamiento de las cuñas.	No sujeta firme la bobina.	Diario
Potencia	Motor	Visual, Auditiva: Ruidos y vibraciones Acople al bastidor	Falla mecánica	Diario
		Cableado y conexiones	Falla eléctrica	
	Poleas y correa.	Auditiva. Ruidos Vibraciones Visual: error de medida	Correa no tensionada.	Diario
		Visual.	Rotura de la correa	Diario
Estructura	Bastidores	Visual	Corrosión y deformación	Visual.

Fuente: elaboración propia.

Cuadro 9. Lista de fallas.

Falla	Procedimiento	Insumos.	Recursos humanos
Dificultades en el giro de los rodillos de presión.	Revisión de los rodamientos. cambio de rodamientos	Juego de rodamientos	Personal de mantenimiento
Daño del caucho de los rodillos de presión.	Revisión del daño. Cambiar el recubrimiento.	Contactar al fabricante.	Personal especializado
No hay corte de láminas. Ajuste. Filo de la cuchilla	Revisar el ajuste y distancia entre cuchillas Fijar la posición correcta de la cuchilla. Afilan las cuchillas	Llave Allen o Bristol para desmontar la cuchilla	Personal de mantenimiento Personal especializado
Fugas en el sistema neumático.	Revisar las manguera y acoples a la electroválvula y cilindro neumático. Asegurar la entrada de las mangueras y Cambio de mangueras	Mangueras manómetros	Personal de mantenimiento
El cilindro neumático no se acciona	Revisión de la electroválvula y conexiones. Consultar con el fabricante	Instrumento de medición (multímetro)	Personal de mantenimiento
Dificultades en el giro del eje neumático expansible.	Revisión de los rodamientos. cambio de rodamientos	Juego de rodamientos	Personal de mantenimiento
No sujeta firme la bobina el eje neumático expansible.	Revisión de presión de aire Consultar con el fabricante	N/A	Contactar con el fabricante.
Falla mecánica	Verificar los acoples y rodamientos.		Personal especializado
Falla eléctrica	Verificar conexiones y condiciones del sistema Tensión muy baja.	Multímetro	Personal especializado
Correa no tensionada.	Ubicar poleas tensoras.	Polea tensora	Personal de mantenimiento
Rotura de la correa	Revisar la correa	Cambio de correa	Operario
Corrosión y deformación	Inspección de los bastidores, ubicar puntos con corrosión. Lijar el área, Aplicar anticorrosivo. Pintar.	Lija. Anticorrosivo Pintura.	Personal de mantenimiento.

Fuente: elaboración propia.

6. EVALUACIÓN FINANCIERA

A lo largo del presente capítulo se evaluará la viabilidad financiera al momento de llevar a cabo el proyecto. En un comienzo se tendrá en cuenta la inversión inicial, es decir, los costos asociados a los materiales, fabricación e ingeniería y a continuación se evaluará el beneficio del proyecto a largo plazo.

6.1 Inversión inicial.

Una vez se tiene el diseño de la máquina se deben cotizar tanto sus partes como procesos de fabricación (mecanizado, soldadura, tratamientos térmicos, entre otros) así tener el costo más aproximado de la inversión inicial que debe realizar la empresa, adicionalmente se debe tener en cuenta los costos de ingeniería en los cuales se incluye el salario del proyectista, y elementos como papelería y computadores con sus respectivos programas.

A continuación, se presenta la lista de los costos de cada inversión nombrada con anterioridad, inicialmente los costos de materiales de elementos que conformaran el equipo.

Tabla 56. Costos de materiales.

COSTOS DE ELEMENTOS DEL EQUIPO					
ID planos	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	TOTAL
1	Apoyo rodamiento superior	und	2	\$ 50.000	\$ 100.000
2	Apoyo rodamiento inferior	und	2	\$ 40.000	\$ 80.000
8	Material Cuña Dosificación.	kg	2	\$ 1.000	\$ 2.000
4,5,6,7	Material eje dosificación	kg	4	\$ 21.500	\$ 86.000
11	Material engranaje D 80	kg	2	\$ 30.000	\$ 60.000
10	Material discos laterales	kg	4	\$ 2.000	\$ 8.000
Normalizado	Poleas sincronica 76 dientes	und	1	\$ 81.954	\$ 81.954
Normalizado	Polea sincronica 45 dientes	und	1	\$ 20.000	\$ 20.000
N/A	Resortes	und	2	\$ 3.000	\$ 6.000
Normalizado	Rodamiento skf 2205	und	2	\$ 25.000	\$ 50.000
Normalizado	Rodamiento skf 6205	und	2	\$ 12.000	\$ 24.000
N/A	soporte apoyo superior	und	2	\$ 5.000	\$ 10.000
N/A	soporte apoyo inferior	und	4	\$ 5.000	\$ 20.000
3	Material tubo del rodillo	m	2	\$ 50.000	\$ 100.000
Normalizado	Cilindro nuemático con flanche	und	1	\$ 316.800	\$ 316.800
Normalizado	Valvula 5/2	und	1	\$ 113.300	\$ 113.300
Normalizado	Unidad de mantenimiento	und	1	\$ 152.000	\$ 152.000
Normalizado	Control de flujo en codo	und	2	\$ 29.500	\$ 59.000
Normalizado	Acople rapido recto	und	5	\$ 4.200	\$ 21.000
Normalizado	Sileciador bronce	und	2	\$ 5.350	\$ 10.700
Normalizado	Manguera poliuretano	und	6	\$ 3.880	\$ 23.280
18	Material Apoyo cuchilla	kg	1	\$ 30.000	\$ 30.000
16	Material apoyo lateral	kg	2	\$ 7.000	\$ 14.000
12	Material base inferior	kg	1	\$ 40.000	\$ 40.000

Tabla 59. (continuación)

COSTOS DE ELEMENTOS DEL EQUIPO					
ID planos	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	TOTAL
13	Material base superior	kg	1	\$ 50.000	\$ 50.000
15	Cuchilla inferior	und	1	\$ 250.000	\$ 250.000
14	Cuchilla superior	und	1	\$ 250.000	\$ 250.000
17	Guías laterales	und	2	\$ 7.150	\$ 14.300
Normalizado	Rodamiento lineal LBBR 16	und	2	\$ 24.000	\$ 48.000
28	Material brazo balancin	kg	2	\$ 4.800	\$ 9.600
32	Material eje balancin inferior	kg	1	\$ 7.600	\$ 7.600
33	Material eje superior	kg	4	\$ 7.600	\$ 30.400
34	Material eje brazo	kg	1	\$ 7.600	\$ 7.600
30	Material tubo aluminio	m	5	\$ 50.000	\$ 250.000
Normalizado	Rodamiento skf 6303-2z	und	10	\$ 12.000	\$ 120.000
Normalizado	Rodamiento skf 6202	und	2	\$ 12.000	\$ 24.000
9	Material cuña buje freno	und	2	\$ 3.000	\$ 6.000
9	Material cuña engranaje	und	2	\$ 3.000	\$ 6.000
26	Material eje freno	kg	2	\$ 21.500	\$ 43.000
23	Eje neumático	und	2	\$ 3.900.000	\$ 7.800.000
27	Material engranaje freno	und	2	\$ 50.000	\$ 100.000
25	Material engranaje eje	und	2	\$ 50.000	\$ 100.000
20	Material flanche	kg	2	\$ 5.000	\$ 10.000
Normalizado	Freno	und	2	\$ 507.500	\$ 1.015.000
22	Material tapa eje neumático	kg	4	\$ 7.000	\$ 28.000
21	Material lateral de la tapa eje	kg	4	\$ 7.000	\$ 28.000
35	Material base inferior	kg	1	\$ 206.300	\$ 206.300
36	Material basidor 1	kg	1	\$ 612.500	\$ 612.500
37	Material bastidor 2	kg	1	\$ 612.500	\$ 612.500
31	Material separadores	kg	2	\$ 58.700	\$ 117.400
29	Material separadores centrales	kg	2	\$ 58.700	\$ 117.400
	Material zona descargue	kg	1	\$ 100.000	\$ 100.000
Normalizado	Tarjeta driver JK2M2283	Und	1	\$ 297.500	\$ 297.500
Normalizado	Motor paso a paso JK86H115-600	und	1	\$ 122.500	\$ 122.500
N/A	Envío a colombia	---	1	\$ 288.750	\$ 288.750
Normalizado	Tornillos + tuercas + arandelas	und	1	\$ 50.000	\$ 50.000
Normalizado	Correa 800 - 5M- 15	und	1	\$ 129.400	\$ 129.400
Normalizado	PLC	und	1	\$ 681.000	\$ 681.000
TOTAL COSTOS DE ELEMENTOS DEL EQUIPO					\$ 14.960.784

Fuente: elaboración propia. basado en las cotizaciones de las empresas.

Nomenclatura:

- N/A: No Aplica.
- NM: Normalizado

A continuación, se presentan los procesos posteriores a realizar a los materiales anteriormente nombrados.

Tabla 57. Costos de fabricación.

COSTOS DE FABRICACIÓN				
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	TOTAL
Enchauchar rodillo	und	2	\$ 300.000	\$ 600.000
Mecanizado Cuña	Horas	0,5	\$ 45.000	\$ 22.500
Mecanizado eje dosificación	Horas	2	\$ 45.000	\$ 90.000
Mecanizado engranaje D 80	Horas	80	\$ 2.000	\$ 160.000
Mecanizado discos laterales	Horas	0,5	\$ 45.000	\$ 22.500
Mecanizado tubo del rodillo	Horas	0,5	\$ 45.000	\$ 22.500
Mecanizado Apoyo cuchilla	Horas	2	\$ 45.000	\$ 90.000
Mecanizado apoyo lateral	Horas	2	\$ 45.000	\$ 90.000
Mecanizado base inferior	Horas	2	\$ 45.000	\$ 90.000
Mecanizado base superior	Horas	2	\$ 45.000	\$ 90.000
Mecanizado brazo balancín	Horas	3	\$ 45.000	\$ 135.000
Mecanizado eje balancín inferior	Horas	2	\$ 45.000	\$ 90.000
Mecanizado eje superior	Horas	2	\$ 45.000	\$ 90.000
Mecanizado eje brazo	Horas	2	\$ 45.000	\$ 90.000
Mecanizado tubo aluminio	Horas	1	\$ 45.000	\$ 45.000
Mecanizado cuña buje freno	Horas	0,5	\$ 45.000	\$ 22.500
Mecanizado cuña engranaje	Horas	0,5	\$ 45.000	\$ 22.500
Mecanizado eje freno	Horas	2	\$ 45.000	\$ 90.000
Mecanizado engranaje freno	Horas	80	\$ 2.000	\$ 160.000
Mecanizado engranaje eje	Horas	80	\$ 45.000	\$ 3.600.000
Mecanizado flanche	Horas	1	\$ 45.000	\$ 45.000
Mecanizado tapa eje neumático	Horas	1	\$ 45.000	\$ 45.000
Mecanizado lateral de la tapa eje	Horas	1	\$ 45.000	\$ 45.000
Mecanizado base inferior	Horas	1	\$ 45.000	\$ 45.000
Mecanizado basidor 1	Horas	2	\$ 45.000	\$ 90.000
Mecanizado bastidor 2	Horas	2	\$ 45.000	\$ 90.000
Mecanizado separadores	Horas	2	\$ 45.000	\$ 90.000
Mecanizado separadores centrales	Horas	2	\$ 45.000	\$ 90.000
Mecanizado zona descargue	Horas	3	\$ 45.000	\$ 135.000
Soldadura Rodillos de dosificación	Horas	20	\$ 2.500	\$ 50.000
Mano de obra de montaje	Horas	15	\$ 40.000	\$ 600.000
TOTAL COSTOS DE FABRICACIÓN				\$ 6.947.500

Fuente: elaboración propia. basado en las cotizaciones de las empresas.

Tabla 58. Costos de ingeniería.

COSTOS DE INGENIERÍA DEL PROYECTO				
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	TOTAL
Ingeniero de proyecto	Horas	480	\$ 12.000	\$ 5.760.000
Computador	und	1	\$ 1.800.000	\$ 1.800.000
Impresiones	und	1	\$ 50.000	\$ 50.000
Transportes cotizaciones	Pasaje	20	\$ 2.400	\$ 48.000
TOTAL COSTOS DE INGENIERÍA DEL PROYECTO				\$ 7.658.000

Fuente: elaboración propia. basado en las ACIEM, Y cotizaciones.

Para hallar el costo total o inversión inicial se debe realizar la suma de los costos anteriormente hechos, es decir, costos de materiales, fabricación e ingeniería.

Tabla 59. Costo total.

TOTAL, COSTOS DE ELEMENTOS DEL EQUIPO	\$	14.960.784
TOTAL, COSTOS DE FABRICACIÓN	\$	6.947.500
TOTAL, COSTOS DE INGENIERÍA DEL PROYECTO	\$	7.658.000
TOTAL, COSTOS DE DISEÑO Y FABRICACIÓN	\$	29.566.284

Fuente: elaboración propia.

6.2 Beneficio del proyecto.

Para observar el beneficio del proyecto se debe inicialmente realizar el flujo de caja del proyecto. Donde se tendrán en cuenta los ingresos y costos totales como: materia prima, mano de obra directa, Costos directos e indirectos de fabricación. Además de las inversiones que se realizan. Inicialmente se realiza un flujo de caja proyectado a 3 años, teniendo en cuenta la situación actual de la empresa, a continuación, se realiza el flujo de caja al implementar el proyecto y se comparan.

Flujo de caja de la situación actual. Para esta sección se debe dar de una breve explicación del funcionamiento de la empresa, la cual posee 2 productos principales, vinipel, y empaque para flores, en este caso solo se tomará la producción de los empaques flexibles, los cuales se producen en masa en 3 temporadas del año para cultivos medianos y pequeños.

- San Valentín: Periodo que comienza a mediados de diciembre del año anterior, y termina a inicios de febrero.
- Día de madres: Su producción se da en el mes de abril.
- Amor y amistad: Su producción se da en los periodos de agosto e inicios de septiembre.

En el flujo de caja se observa el incremento año tras año según proyecciones, a pesar de lo anterior al no encontrarse la proyección para el segundo o tercer año en algunas ocasiones se tomó el incremento del año anterior.

Ingresos. Para los ingresos se tiene que observar las variaciones del precio del petróleo debido a que la materia prima (PET y polipropileno) proviene principalmente del crudo, para esta parte según el portafolio⁴⁹ el ministerio de hacienda utiliza como proyecciones para el petróleo en el 2020 la cifra de US\$67,5, y US\$70 para el 2021.

Tabla 60. Proyección de ingresos anuales sin proyecto y con proyecto

INGRESOS				
	2020	2021	2022	
PRECIO DE VENTA POR KG	\$ 7.103	\$ 7.356	\$ 7.619	
PRODUCCION DIARIA (KG)	500	500	500	
KG A COMERCIALIZAR AL AÑO	50000	50000	50000	
INCREMENTO DE MATERIA PRIMA.	2%	4%	4%	
TOTAL INGRESOS	\$ 355.145.000	\$ 367.823.677	\$ 380.954.982	

Fuente: elaboración propia. basado en los datos proporcionados por Cristapack

COSTOS. En los costos se consideran los costos que genera únicamente el producto de láminas de empaque de flores, para ello se tomó los costos de mano de obra, de materia prima y de costos directos. la empresa inversiones Cristapack nos proporcionó la información de la tabla 39. Para el incremento de los sueldos se tomó el mismo incremento del año 2019 es decir del 5%. Respecto a los servicios públicos se tomó un incremento del 4% según el espectador ese aumento se presentará en el 2020.

⁴⁹ PORTAFOLIO. El Gobierno haría sus cuentas del 2020 con crudo a US\$67,5. 10 de abril de 2019. Colombia. [Consultado el 14 de octubre de 2019]. Disponible en: <https://www.portafolio.co/economia/el-gobierno-haria-sus-cuentas-del-2020-con-crudo-a-us-67-5-528448>

Tabla 61. Costos de producción sin proyecto.

COSTOS DE PRODUCCION				
	2020	2021	2022	
COSTO MATERIA PRIMA.				
PRECIO DE COMPRA POR KG	5854,0	6063,0	6279,5	
PRODUCCION DIARIA (KG)	500	500	500	
KG A COMERCIALIZAR AL AÑO	50000	50000	50000	
INCREMENTO DE MATERIA PRIMA.	2%	4%	4%	
TOTAL COSTO DE MATERIA PRIMA.	292700800	303150218,6	313972681,4	
MANO DE OBRA DIRECTA.				
SUELDO BASICO	\$ 828.116	\$ 869.522	\$ 912.998	
TRANSPORTE	\$ 97.023	\$ 101.874	\$ 102.117	
CESANTIAS	\$ 77.095	\$ 80.950	\$ 84.593	
INTERESES CESANTIAS	\$ 9.251	\$ 9.714	\$ 10.151	
PRIMA	\$ 77.095	\$ 80.950	\$ 84.593	
VACACIONES	\$ 34.505	\$ 36.230	\$ 38.042	
PENSION	\$ 8.281	\$ 8.695	\$ 9.130	
RIESGOS	\$ 20.173	\$ 21.182	\$ 22.241	
CAJA COMPENSACION	\$ 33.125	\$ 34.781	\$ 36.520	
TOTAL 1 OPERARIO	\$ 1.184.664	\$ 1.243.897	\$ 1.300.384	
TOTAL OPERARIOS	3	3	3	
TOTAL COSTOS DE PRODUCCIÓN operarios	\$ 3.553.991	\$ 3.731.691	\$ 3.901.151	
SUELDO INGENIERO.				
SUELDO INGENIERO.	\$ 2.500.000	\$ 2.625.000	\$ 2.625.000	
TRANSPORTE	\$ 97.023	\$ 101.874	\$ 102.117	
CESANTIAS	\$ 216.419	\$ 227.240	\$ 227.260	
INTERESES CESANTIAS	\$ 25.970	\$ 27.269	\$ 27.271	
PRIMA	\$ 216.419	\$ 227.240	\$ 227.260	
VACACIONES	\$ 104.167	\$ 109.375	\$ 109.375	
PENSION	\$ 25.000	\$ 26.250	\$ 26.250	
RIESGOS	\$ 60.900	\$ 63.945	\$ 63.945	
CAJA COMPENSACION	\$ 100.000	\$ 105.000	\$ 105.000	
TOTAL 1 OPERARIO	\$ 3.345.897	\$ 3.513.192	\$ 3.513.477	
TOTAL OPERARIOS	1	1	1	
TOTAL COSTOS DE PRODUCCIÓN operarios	\$ 3.345.897	\$ 3.513.192	\$ 3.513.477	
Costos directos				
	2020	2021	2022	
ENERGÍA	\$ 161.280	\$ 167.731	\$ 174.440	
ACUEDUCTO	\$ 600.000	\$ 624.000	\$ 648.960	
TELÉFONO	\$ 402.000	\$ 418.080	\$ 434.803	
ARRIENDO	\$ 12.240.000	\$ 12.729.600	\$ 13.238.784	
TRANSPORTE	\$ 9.600.000	\$ 9.984.000	\$ 10.383.360	
CAFETERÍA	\$ 600.000	\$ 624.000	\$ 648.960	
ADMINISTRACIÓN	\$ 7.200.000	\$ 7.488.000	\$ 7.787.520	
CONTABILIDAD	\$ 1.800.000	\$ 1.872.000	\$ 1.946.880	
TOTAL COSTOS.	\$ 332.203.968	\$ 344.302.513	\$ 356.651.017	

Fuente: elaboración propia. basado en datos proporcionados por Cristapack S.A.S.

Inversiones sin proyecto. consiste en la inversión inicial de máquinas de guillotina de rodaja estas tienen un costo de \$ 150.000 por máquina teniendo en cuenta que se necesitan 3 operarios se invierte en 3 máquinas, además de lo anterior de inversión inicial se toma que se deben comprar 3 mesas para el corte que tienen un costo según la empresa de \$ 1.700.000. Un vidrio para evitar el daño de la mesa con un costo de \$1.300.000 un soporte para las bobinas y un eje donde se ponen las bobinas el cual tiene un costo de \$700.000 y \$150.000 respectivamente, unas paralelas para la para la medida de las láminas de \$20000 en este caso son 6. Para un total de \$12.120.000. Adicionalmente hay que realizar un cambio de máquinas aproximadamente cada 3 meses debido a que las cuchillas pierden su filo y la reglas se rompen, el costo aproximado de la cuchilla y la regla guía es de 90 mil, por lo que la empresa prefiere realizar la inversión de la máquina completa. A continuación, se realiza el flujo de caja

Tabla 62. Flujo de caja sin proyecto y con proyecto.

FLUJO DE CAJA SIN PROYECTO				
	INVERSION INICIA	2020	2021	2022
INGRESOS		\$ 355.145.000	\$ 367.823.677	\$ 380.954.982
COSTOS DE PRODUCCION		\$ 332.203.968	\$ 344.302.513	\$ 356.651.017
UTILIDAD BRUTA		\$ 22.941.032	\$ 23.521.164	\$ 24.303.965
DEPRECIACIÓN		\$ 25.970	\$ 27.269	\$ 27.271
UTILIDAD ANTES DE IMPUESTOS		\$ 22.915.061	\$ 23.493.895	\$ 24.276.693
IMPUESTO DE RENTA.		\$ 7.561.970	\$ 7.518.046	\$ 7.525.775
UTILIDAD DESPUES DE IMPUESTOS		\$ 15.353.091	\$ 15.975.849	\$ 16.750.918
INVERSIONES				
INVERSION FIJA	\$ 12.120.000	\$ 1.980.000	\$ 2.178.000	\$ 2.395.800
FLUJO DE CAJA NETO	-\$ 12.120.000	\$ 13.373.091	\$ 13.797.849	\$ 14.355.118

Fuente: elaboración propia. basado en datos proporcionados por Cristapack S.A.S.

Flujo de caja implementando el proyecto. Al igual que el caso anterior se dará una breve explicación de la implicación de aplicar este proyecto, inicialmente las temporadas de trabajo siguen siendo las mismas, a pesar de lo anterior, el hecho de realizar el corte de 1000 Kg diarios le permite a la empresa proveer de láminas a empresas o grupos de floricultores grandes como grupo Ipanema flores, el cual en vez de comprar de a 6000 Kg adquiere 20.000 Kg, esto permite mayores ventas, ingresos y descuentos en la materia prima como se explicara más adelante.

Así mismo al igual que en el caso anterior se observa el incremento año tras año según proyecciones, al no encontrarse la proyección para el segundo o tercer año se tomó el incremento del año anterior.

Ingresos. Al igual que el caso anterior se toma el incremento del petróleo anteriormente explicado, en este caso los cultivos al comprar en gran masa se les otorga un descuento por la compra de volumen por lo cual el precio de venta disminuye a de \$ 7.103 pesos a \$ 6.336 pesos en el primer año.

Tabla 63. Proyección de ingresos anuales sin proyecto y con proyecto

INGRESOS				
		2020	2021	2022
PRECIO DE VENTA POR KG		\$ 6.336	\$ 6.563	\$ 6.797
PRODUCCION DIARIA (KG)		1000	1000	1000
UNIDAD A COMERCIALIZAR AL AÑO		160000	160000	160000
INCREMENTO DE MATERIA PRIMA.		2%	4%	4%
TOTAL INGRESOS		\$ 1.013.824.000	\$ 1.050.017.517	\$ 1.087.503.142

Fuente: elaboración propia. basado en los datos proporcionados por Cristapack

COSTOS. Al igual que el caso anterior se consideran los costos de mano de obra, materia prima y costos directos, teniendo en cuenta los mismos ingresos del 5% para los sueldos, y 4% para servicios públicos.

Tabla 64. Costos de producción sin proyecto.

COSTOS DE PRODUCCION				
		2020	2021	2022
COSTO MATERIA PRIMA.				
PRECIO DE COMPRA POR KG		5700,716	5904,231561	6115,012628
PRODUCCION DIARIA (KG)		1000	1000	1000
KG A COMERCIALIZAR AL AÑO		160000	160000	160000
INCREMENTO DE MATERIA PRIMA.		2%	4%	4%
TOTAL COSTO DE MATERIA PRIMA.		912114560	944677049,8	978402020,5
MANO DE OBRA DIRECTA.				
SUELDO BASICO		\$ 828.116	\$ 869.522	\$ 912.998
TRANSPORTE		\$ 97.023	\$ 101.874	\$ 102.117
CESANTIAS		\$ 77.095	\$ 80.950	\$ 84.593
INTERESES CESANTIAS		\$ 9.251	\$ 9.714	\$ 10.151
PRIMA		\$ 77.095	\$ 80.950	\$ 84.593
VACACIONES		\$ 34.505	\$ 36.230	\$ 38.042
PENSION		\$ 8.281	\$ 8.695	\$ 9.130
RIESGOS		\$ 20.173	\$ 21.182	\$ 22.241
CAJA COMPENSACION		\$ 33.125	\$ 34.781	\$ 36.520
TOTAL 1 OPERARIO		\$ 1.184.664	\$ 1.243.897	\$ 1.300.384
TOTAL OPERARIOS		1	1	1
TOTAL COSTOS DE PRODUCCIÓN operarios		\$ 1.184.664	\$ 1.243.897	\$ 1.300.384
SUELDO INGENIERO.				
TRANSPORTE		\$ 97.023	\$ 101.874	\$ 102.117
CESANTIAS		\$ 120.585	\$ 126.615	\$ 132.541
INTERESES CESANTIAS		\$ 14.470	\$ 15.194	\$ 15.905
PRIMA		\$ 120.585	\$ 126.615	\$ 132.541
VACACIONES		\$ 56.250	\$ 59.063	\$ 62.016
PENSION		\$ 13.500	\$ 14.175	\$ 14.884
RIESGOS		\$ 32.886	\$ 34.530	\$ 36.257

Tabla 64. (Continuación)

COSTOS DE PRODUCCION				
		2020	2021	2022
CAJA COMPENSACION		\$ 54.000	\$ 56.700	\$ 59.535
TOTAL 1 OPERARIO		\$ 1.859.300	\$ 1.952.265	\$ 2.044.170
TOTAL OPERARIOS		1	1	1
TOTAL COSTOS DE PRODUCCIÓN operarios		\$ 1.859.300	\$ 1.952.265	\$ 2.044.170
Costos directos		2020	2021	2022
Energia		\$ 161.280	\$ 167.731	\$ 174.440
Acueducto		\$ 600.000	\$ 624.000	\$ 648.960
Telefono		\$ 402.000	\$ 418.080	\$ 434.803
Arriendo		\$ 12.240.000	\$ 12.729.600	\$ 13.238.784
Transporte.		\$ 9.600.000	\$ 9.984.000	\$ 10.383.360
Cafeteria varios		\$ 600.000	\$ 624.000	\$ 648.960
administracion		\$ 7.200.000	\$ 7.488.000	\$ 7.787.520
CONTABILIDAD		\$ 1.800.000	\$ 1.872.000	\$ 1.946.880
TOTAL COSTOS.		\$ 947.761.803	\$ 981.780.623	\$ 1.017.010.281

Fuente: Fuente: elaboración propia. basado en datos proporcionados por Cristapack S.A.S.

Inversiones con proyecto. Consiste en el costo inicial del proyecto, el cual fue calculado en la sección 6.1. además, en este caso se debe calcula la depreciación de la máquina la cual se considera que se deprecia en 10 años.

Tabla 65. Inversiones de la empresa

INVERSIONES CON PROYECTO				
MAQUINA	\$	29.566.284		

Fuente: elaboración propia.

Tabla 66. Depreciación lineal de la máquina a 10 años.

DEPRECIACIÓN				
		2020	2021	2022
MAQUINA CORTADORA		\$ 2.956.628	\$ 2.956.628	\$ 2.956.628

Fuente: elaboración propia.

A continuación, se realiza el flujo de caja

Tabla 67. Flujo de caja sin proyecto y con proyecto.

FLUJO DE CAJA CON PROYECTO				
	0	1	2	3
INGRESOS		\$ 1.013.824.000	\$ 1.050.017.517	\$ 1.087.503.142
COSTOS DE PRODUCCION		\$ 947.761.803	\$ 981.780.623	\$ 1.017.010.281
UTILIDAD BRUTA		\$ 66.062.197	\$ 68.236.894	\$ 70.492.861
DEPRECIACIÓN		\$ 2.956.628	\$ 2.956.628	\$ 2.956.628
UTILIDAD ANTES DE IMPUESTOS		\$ 63.105.568	\$ 65.280.266	\$ 67.536.232
IMPUESTO DE RENTA		\$ 20.824.837	\$ 20.889.685	\$ 20.936.232
UTILIDAD DESPUES DE IMPUESTOS		\$ 42.280.731	\$ 44.390.581	\$ 46.600.000
INVERSIONES				
INVERSION FIJA	\$ 29.566.284			
FLUJO DE CAJA NETO	-\$ 29.566.284	\$ 42.280.731	\$ 44.390.581	\$ 46.600.000

Fuente: elaboración propia.

Tasa de interés de oportunidad. Se debe hallar la tasa de oportunidad del proyecto, para ello se debe sacar el promedio de la DTF, la tasa inversionista, la cual se considera como mínimo la rentabilidad de un CDT. Para ello se realizó una revisión de los CDTs más rentables, el cual se encontró Coofinep Cooperativa Financiera que tiene una rentabilidad de 6,84.

Además de una proyección de la tasa de inflación promedio la cual para el año 2020 es de 3,36 % EA ⁵⁰.

Para hallar la TIO o tasa de oportunidad se debe usar la siguiente ecuación.

Ecuación 43. Formula TIO.

$$TIO = \left(((1 + DTF) * (1 + Inflación) * (1 + Tasa esperada inversionistas)) - 1 \right) * 100\%$$

Fuente: CHAIN, Nassir. Preparación y evaluación de proyectos. Quinta edición. Mc Graw Hill, 2008. 321 p.

Tabla 68. Tasa de interés de oportunidad.

TASA DE DESCUENTO DEL PROYECTO		
PROMEDIO DTF	5,30%	E.A.
TASA INVERSIONISTA (MINIMO RENTABILIDAD CDT)	6,84%	E.A.
TASA INFLACIÓN PROMEDIO PROYECTADA	3,36%	E.A.

Fuente: elaboración propia.

Se aplica la ecuación 24.

⁵⁰ CORFICOLMBIANA. [En línea]. Bogotá D.C. 2019. [Consultado el 14 de octubre de 2019] Disponible en: <https://www.corficolombiana.com/wps/portal/corficolombiana/web/inicio/analisis-mercados/investigaciones-economicas/proyecciones-economicas>

$$TIO = \left((1 + 0,053) * (1 + 0,0336) * (1 + 0,0684) - 1 \right) * 100\% = 16,28\%$$

Indicadores. Para observar la viabilidad del proyecto se debe hallar el VPN o valor presente neto, el cual me indicara la factibilidad.

Ecuación 44. Formula VPN.

$$VPN = \sum_{j=0}^n \frac{I_j}{(1+i)^j} - \sum_{j=0}^n \frac{E_j}{(1+i)^j}$$

Fuente: CHAIN, Nassir. Preparación y evaluación de proyectos. Quinta edición. Mc Graw Hill, 2008. 321 p.

- Donde:
- j= Periodo
- I= Ingresos.
- i= Tasa= TIO= 16,28%
- E= Egresos.
- n= Último periodo
- VPN= Valor presente neto.

Se halla el VPN sin proyecto. Aplicando la ecuación 25.

$$VPN_{sin\ proy.} = \frac{-\$12.120.000}{(1 + 16,28\%)^0} + \frac{\$13.373.091}{(1 + 16,28\%)^1} + \frac{\$13.797.849}{(1 + 16,28\%)^2} + \frac{\$14.355.118}{(1 + 16,28\%)^3}$$

$$VPN = \$18.714.603$$

Se halla el VPN con proyecto. Aplicando la ecuación 25.

$$VPN_{con\ proy.} = -\frac{\$29.566.284}{(1 + 16,28\%)^0} + \frac{\$42.280.731}{(1 + 16,28\%)^1} + \frac{\$44.390.581}{(1 + 16,28\%)^2} + \frac{\$46.600.000}{(1 + 16,28\%)^3}$$

$$VPN = \$ 69.260.823$$

Si el VPN >0,	Se invierte.
Si el VPN <0,	No se invierte.
Si el VPN =0,	Es indiferente.

Según el proceso anterior el VPN dio como resultado mayor a cero lo que significa que es un proyecto factible para invertir debido a que dará una mayor remuneración a la compañía.

A continuación, se halla el TIR es decir la tasa interna de retorno esta tasa me indica la rentabilidad del proyecto.

Ecuación 45. Formula TIR.

$$VPN = 0 = \sum_{j=0}^n \frac{I_j}{(1+i)^j} - \sum_{j=0}^n \frac{E_j}{(1+i)^j}$$

Donde:

- j= Periodo
- I= Ingresos.
- i= Tasa TD= HALLAR.
- E= Egresos.
- n= Último periodo
- VPN= Valor presente neto.

Se halla la TIR sin proyecto, haciendo uso de la ecuación 30.

$$VPN_{sin\ pro} = 0 = \frac{-\$12.120.000}{(1+TIR)^0} + \frac{\$13.373.091}{(1+TIR)^1} + \frac{\$13.797.849}{(1+TIR)^2} + \frac{\$14.355.118}{(1+TIR)^3}$$

$TIR = 98 \%$

Se halla la TIR con proyecto, haciendo uso de la ecuación 30.

$$VPN_{con\ proy.} = 0 = -\frac{\$29.566.284}{(1+TIR)^0} + \frac{\$42.280.731}{(1+TIR)^1} + \frac{\$44.390.581}{(1+TIR)^2} + \frac{\$46.600.000}{(1+TIR)^3}$$

$TIR = 135 \%$

- | | |
|---------------|-----------------|
| Si TIR > TIO, | Se invierte. |
| Si TIR = TIO, | Es indiferente |
| Si TIR < TIO, | No se invierte. |

La TIR evidencia ser en los dos casos mayor a la TIO de 16,28%, dando como resultado que el proyecto es rentable. Además, se puede observar que al aplicar el proyecto se tendrá mayor rentabilidad al compararlo en el caso donde no se aplica el proyecto.

6.3 Resultados de la evaluación financiera.

Para la realización de los costos se observó cada elemento y pieza, así se obtuvieron los materiales a adquirir y los procesos a los cuales serán sometidos dichos materiales. Respecto a los costos de ingeniería ACIEM nos proporcionó el salario del proyectista, y se tuvieron en cuenta otros factores como trasportes, y fungibles.

Una vez calculados los indicadores básicos se puede concluir que el proyecto es viable financieramente. Al comparar el flujo de caja con y sin la implementación de proyecto se encuentra una reducción de gastos principalmente de la contratación de empleados, además con el VPN y TIR el proyecto muestra un aumento de rentabilidad.

7. CONCLUSIONES

- En el diseño de la máquina para el corte de láminas de empaque flexible elaborado para inversiones Cristapack, se estableció la situación actual y requerida por la empresa. En ella se encontró que existen 3 parámetros principales los cuales consisten en:
 - El aumento del 40% en la producción, obteniendo una producción diaria de 1000 Kg diarios, para la realización de dicho parámetro se tomó la medida más comercial de 75 cm, y se estableció una velocidad de corte de 44 cortes por minuto;
 - La automatización del sistema de dosificación y corte, el cual es actualmente manual;
 - y la estandarización de las dimensiones en las láminas.
- La caracterización del sistema actual permitió identificar los principales componentes del sistema actual, que son sistema de alimentación y corte. La realización del diseño metodológico permitió comprender que el sistema a diseñar requiere mecanismos adicionales, un sistema de dosificación, de control de tensión y de potencia y control. Los cuales ayudaran a evitar o reducir la afectación física generada por el movimiento repetitivo del sistema actual. Así mismo el sistema posee menor riesgo de accidentalidad al no tener relación manual directa con el sistema de corte.
- Para el cumplimiento de los parámetros y requerimientos del cliente y el funcionamiento y diseño de la máquina, se estableció que el sistema de corte por cizalla o guillotina es el método más apropiado en conjunto con un sistema de potencia de motor paso a paso, debido a que se permitirá el aumento de la productividad y la calidad, al realizar un corte limpio y estandarizar las dimensiones. A diferencia del sistema actual el cual en muchas ocasiones el corte no es recto y las dimensiones varían en gran medida.
- El seguimiento de los manuales de instalación y operación, que se elaboraron son indispensables al momento de hablar de vida útil de la máquina, estos permiten una operación estándar. Seguir las inspecciones recomendadas en los periodos establecidos permite la preservación del equipo, y la detección temprana de fallas, lo que conlleva a evitar un mantenimiento correctivo, como es realizado actualmente. Adicionalmente se conocen los procedimientos y recursos necesarios en caso de una falla. presentando una disponibilidad del 100%.
- Desde el punto de vista económico la inversión inicial del proyecto es de \$29.566,284 COP teniendo en cuenta los costos de Materiales y elementos que

componen la máquina, los procesos por los cuales deben pasar algunos elementos y costos de ingeniería.

- De acuerdo a los indicadores de Valor Presente Neto y la Tasa Interna de Retorno, se concluye que el proyecto es viable económicamente. los resultados arrojados indican un aumento de rentabilidad del 98% al 135%. Esto incluye además la entrada a grupos floricultores grandes que pueden realizar pedidos de 20.000 Kg por temporada en vez de 6000 Kg por floricultores pequeños. Al analizar los costos generados se observa una reducción de costos al requerir menor contratación de trabajadores. Adicionalmente se puede observar que la inversión se recupera en el primer año de trabajo.
- El impacto ambiental se omitió debido a que la empresa reprocesa el producto que no cumple con la calidad deseada. Así mismo, al producto que no cumple con las características para el reproceso, se le realiza una disposición de residuos. Teniendo en cuenta la guía ambiental de procesos básicos de transformación de la industria plástica y manejo, aprovechamiento y disposición de residuos plásticos, presentado por el ministerio de ambiente, vivienda y desarrollo territorial, la disposición es por medio de reciclaje mecánico, identificando y separando los residuos según el tipo de material, para disminuir el relleno sanitario e ingresar este material en la industria de recuperación.

8. RECOMENDACIONES.

- Se recomienda tener en cuenta que el proyecto es aplicable únicamente a laminas flexibles delgadas, además de no exceder el peso de las bobinas en los rodillos de alimentación.
- Se recomienda la implementación de un sensor en la cuchilla el cual detenga el sistema al atravesar algún elemento, así se aumenta la seguridad al momento de la manipulación. en caso de meter las manos.
- Se recomienda una vez ensamblada realizar pruebas de corte con la cuchilla y ajustarla para realizar el corte.
- A pesar de que la máquina cuenta con un sistema automático se debe ubicar un operario que este pendiente del funcionamiento, por lo cual se recomienda realizar inducción al operario a cargo.

BIBLIOGRAFÍA.

ACADEMIA DE HUTTE. Traducido por Rafael Hernández. Manual del ingeniero. Barcelona: Gustavo Gili S.A. 1980. ISBN 8425202698.

ACOPLÁSTICOS. ¿Qué es el PVC?. [Sitio web] Bogotá D.C., Acoplásticos. 2019. [Consultado el 21 de julio de 2019] Disponible en: <https://www.acoplasticos.org/index.php/mnu-pre/opm-bus-pref/37-opc-fag-pre5>

AXXECOL S.A. Aceros de alto desempeño. [Sitio web] Bogotá D.C., S.f. [consultado: 11 julio de 2019] disponible en: <http://www.axxecol.com/Tecnica.html>

BILLMEYER, Fred. Ciencia de los polímeros. España. Editorial Reverte. 2004. 593 p. ISBN 84-291-7048-0

BOSCH, Robert. *Sistemas de freno convencionales y electrónicos. Serie amarilla*. 3ra ed. Alemania. Reverte. 2003. 137p. ISBN 9783934584617

BOSTON GEAR. Altra industrial motion. EEUU. Boston gear. 2019 [Consultado el: 12 de septiembre de 2019]. 4 p. disponible en: www.bostongear.com/-/media/Files/Literature/Brand/boston-gear/catalogs/p-1930-bg-sections/p-1930-bg_engineering-info-spur-gears.ashx

CEMBRANOS NISTRAL, Jesús. Automatismos electricos neumáticos e hidráulicos. 5 ed. Mexico. Paraninfo. 2008. 173 p. ISBN 9788497326582

COLOMBIA PRODUCTIVA, MINISTERIO DE COMERCIO, INDUSTRIA Y TURISMO. MANUFACTURAS; Plásticos y pinturas. [Sitio web] Bogotá D.C., S. A. Rico López. 2008. [Consultado el 14 de julio de 2019]. Disponible en: www.colombiaproductiva.com/ptp-sectores/manufactura/plastico-y-pinturas

CONTI, Francisco. Motores paso a paso. Buenos Aires. Librería y editorial Alsina. 2005. 39 p. ISBN 9789505531943.

CREUS, Antonio y MANGOSIO, Jorge. Seguridad e higiene en el trabajo. enfoque integral. Buenos Aires. Alfaomega. 2011. 562 p. ISBN 9789871609192.

CREUS SOLE, Antonio. *Neumática e hidráulica. 2da ed.* Barcelona. marcombo. 2012. 234 p. ISBN 9788426718617

CUESTAS, Arranza Alberto. Tecnología láser. aplicaciones industriales. Barcelona. marcombo: ediciones tecnicas. 2011. 94 p. ISBN -13:978-84-267-1681-1.

DOMINGUEZ, José Esteban. *Sistemas de transmision y frenado. Ciclos formativos. España*. Editex. 2012. 420 p. ISBN ebook: 9788490033708

EL ESPECTADOR. [En línea]. 8 de junio de 2019. [Consultado el 14 de octubre de 2019]. Disponible en: <https://www.elespectador.com/economia/alistan-alzas-en-las-tarifas-de-los-servicios-publicos-articulo-864920>

ESENTTIA. Información sobre el polipropileno. Polipropileno y generalidades. [Sitio web] Cartagena. Esenttia. [Consultado el 20 de julio de 2019] Disponible en: <https://www.esenttia.co/?lang=es&opc=3&sel=2>.

FASSCO. Recomendaciones de ángulos de bisel para cuchillas guillotinas. [Sitio web] Alemania. Fassco. 2019. [Consultado el: 17 de septiembre de 2019] Disponible en: <http://www.fassco.de/es/service/schnittwinkel-fuer-papierschneidemesser.html>

GASPARINI INDUSTRIES S.R.L., Elimina los defectos de cizallamiento en 4 pasos. [Sitio web]. Italia. 23 noviembre de 2017. [Consultado el: 17 de septiembre de 2019] Disponible en: <https://www.gasparini.com/es/blog/elimina-los-defectos-de-cizallamiento-en-4-pasos/>

GOBIERNO DEL ESTADO DE MÉXICO. Polietileno-Tereftalato. Programa sustentable de ahorro de recursos. [Sitio web] México. Secretaria de medio ambiente [Consultado el 21 de julio de 2019]. Disponible en: https://sma.edomex.gob.mx/que_es_polietilenotereftalato.

HIBBELER. R.C. Ingeniería mecánica estática. México. Pearson Educación. 2010 .676 p. <https://pavisva.files.wordpress.com/2016/01/estc3a1tica-de-russel-hibbeler-12va-edicic3b3n.pdf> ISBN. 978-607-442-561-1

IMPORTADORA Y COMERCIALIZADORA CHRT S.A.S. catálogo de Hong Yueng machinery co ltda. *Fully- automatic plastic bag making machinery*. Hymac . Taiwan. S.f. 23p.

INDUSTRIAS RAMFÉ. frenos electromagneticos ramfe. frenos electromagneticos de disco. [Sitio web]. Bogotá D.C., Ramfé. 2019 [Consultado el 20 de julio de 2019] Disponible en: <http://www.ramfe.com.co/archivos/187.pdf>

INTERMEC. [en línea]. Intermec. [consultado el: 12 de septiembre de 2019]. 1 p. Disponible en: https://www.intermec.com.co/pdf/cunas_y_cuneros_estandar.pdf

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN. Compendio de normas para trabajos escritos NTC-1486-6166. Bogotá D.C. El instituto, 2018 ISN 9789588585673 153 p.

MILLAN, Salvador. *Automatización neumática y electroneumática*. Barcelona. Marcombo. 1996. 252 p. Volumen 1. ISBN 9788426710390

MINISTERIO DE TRABAJO, MIGRACIONES Y SEGURIDAD SOCIAL DE ESPAÑA. NTP 98. Guillotina de papel. España. 1984. 6 p.

PORTAFOLIO. El Gobierno haría sus cuentas del 2020 con crudo a US\$67,5. [Sitio web]. 10 de abril de 2019. Colombia. [Consultado el 14 de octubre de 2019]. Disponible en: <https://www.portafolio.co/economia/el-gobierno-haria-sus-cuentas-del-2020-con-crudo-a-us-67-5-528448>

PROCOLOMBIA. Con flores colombianas se celebrará san Valentín. Exportaciones. [Sitio web] Bogotá D.C., Procolombia. 12 de febrero de 2013. [consultado el: 8 de julio de 2019]. disponible en <http://www.procolombia.co/archivo/con-flores-colombianas-se-celebrara-san-valentin>.

RAUWWENDAAL. Chris. Polymer extrusion. 5ed. Munich. Hanser Publishers. 2014. 768 p. ISBN 978-1-56990-516-6

SAAVEDRA, Wilmer. Revista el empaque y conversión. Soluciones flexibles. [En línea]. 13 de marzo de 2017. [Consultado el 22 de julio de 2019] Disponible en: <http://www.elempaque.com/blogs/Como-medir-y-controlar-la-tension-de-un-sustrato-en-un-proceso-de-conversion-de-laminados-para-envases-flexibles+118389>

SAAVEDRA, Wilmer. Manejo de tensión en las películas. El empaque & conversión. [En línea] 07 de diciembre de 2016 [consultado el: 16 de septiembre de 2019]. Disponible en: <http://www.elempaque.com/blogs/Manejo-de-tension-en-las-peliculas+116811>

SERWAY Raymond. Mexico D.F. Cengage learning. 2008. 400 p. séptima edición. ISBN ISBN-13: 978-607-481-357-9

SHIGLEY. J.E. Teoría de máquinas y mecanismos. México. Mc Graw Hill 2001. 613 p. ISBN 0-07-056884-7

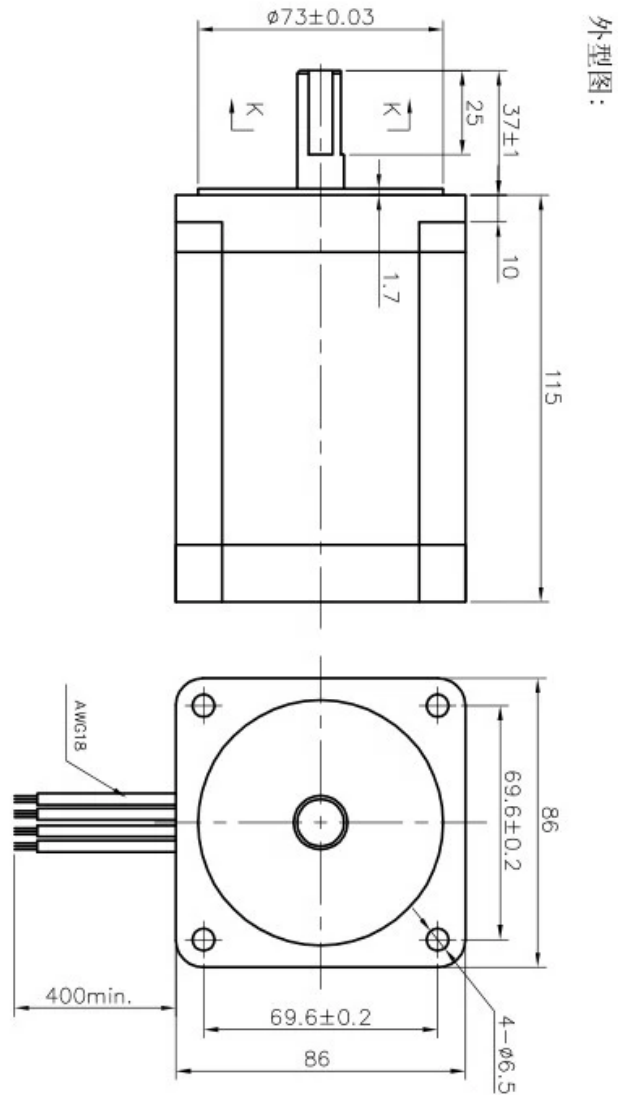
SIFER S.A. Ejes neumaticos. asesoria y soluciones en manejo de fluidos. [Sitio web]. Bogotá D.C., Sifer S.A. 2019 [Consultado el 31 de julio de 2019]. Disponible en: <https://www.sifer.com.co/lineas/ejes-neumaticos>

SKF, catalogo SKF. Grupo SKF. octubre 2015. [consultado el: 5 de septiembre de 2019]. 326 p. disponible en: https://www.skf.com/binary/76-121486/0901d19680416953-10000_2-ES---Rolling-bearings.pdf

TROTEC. Laser making cutting engraving. Resumen de los diferentes tipos de laser. Laser de CO2, vanadato y fibra. [Sitio Web] Barranquilla. Trotec. [consultado: 11 julio 2019] Disponible en: <https://www.troteclaser.com/es-co/tutoriales-ejemplos/faqs/tipos-de-laser/>.

ANEXOS.

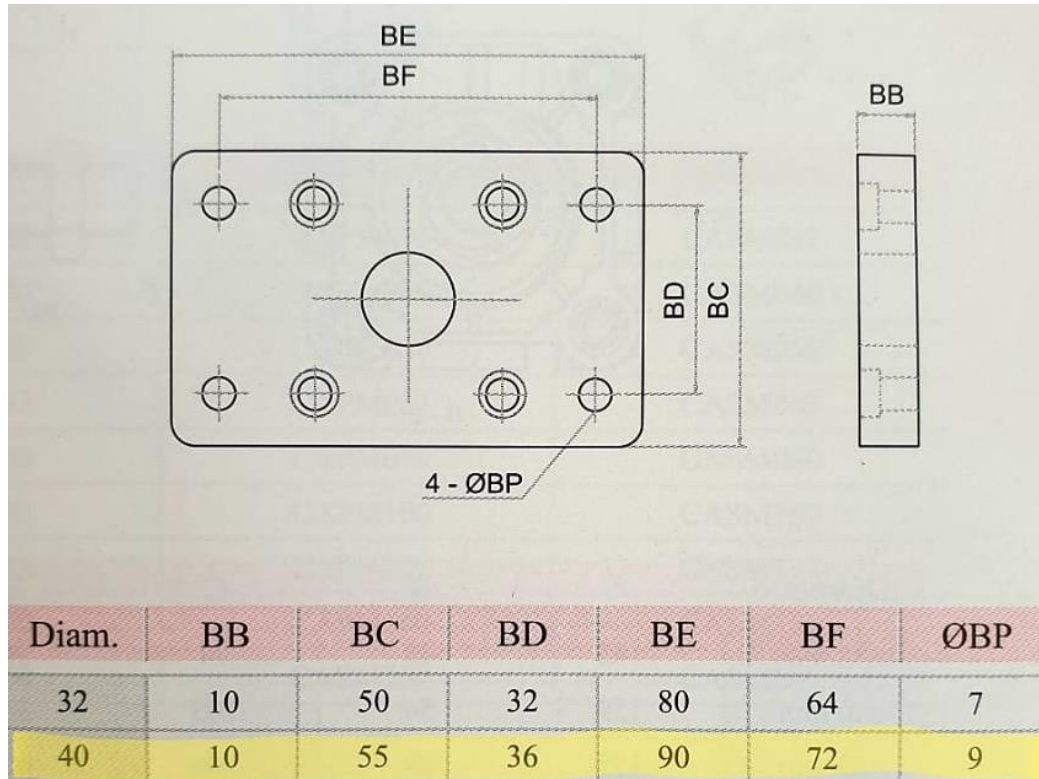
ANEXO A.
DIMENSIONES DEL MOTOR PASO A PASO



Fuente: JKONGMOTOR CO Ltda. [Sitio web] Changzhou, China. 2019. [consultado el 4/ octubre de 2019]. Disponible en: www.jkongmotor.com/product/86HS-NEMA34-2Phase-Stepper-Motor-1-8%C2%B0.html

ANEXO B.

MEDIDAS DEL FLANCHE DEL PISTÓN NEUMÁTICO PROPORCIONADA POR ARVAX

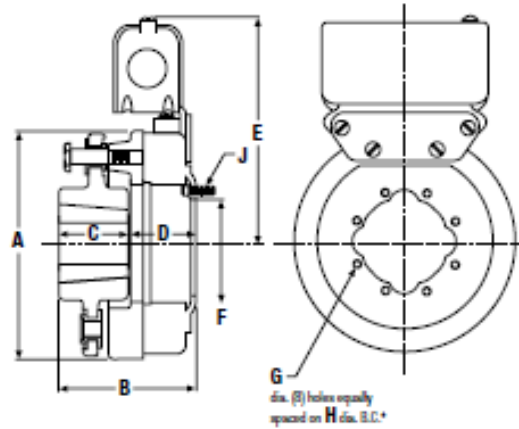


Fuente: Cotización Arvax Air & vacuum express. Bogotá. 2019.

ANEXO C.

MEDIDAS DEL FRENO ELECTROMAGNÉTICO TB 500

Basic Tension Brake Dimensions and Parts List
TB-500

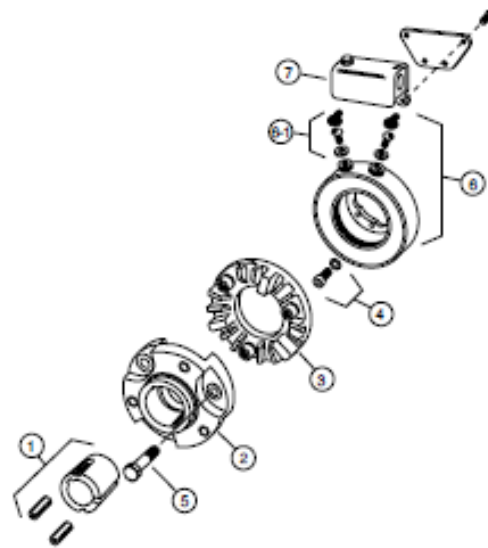


() denotes millimeters

All dimensions nominal unless specified.

*Mounting holes are within .010" (.254) of true position relative to pilot diameter.

Model	A Max.	B Max.	C	D	E Max.	F	G	H	J
TB-500	5.125 (130.18)	3.140 (79.77)	1.500 (38.10)	1.594 (40.48)	5.062 (128.59)	2.062 (52.39)	.208/.201 (5.28/5.11)	2.375 (60.33)	#8-32 UNC-3A



Bore, Bushing, Keyway Data

Model	Bushing	Bore Dia.	Keyway
TB-500	Dodge #1215	1/2-9/16 (12.70/14.28)	1/8 x 1/16 (3.18 x 1.59)
		5/8-7/8 (15.88-22.22)	3/16 x 3/32 (4.76 x 2.38)
		15/16-1-1/4 (23.81-31.75)	1/4 x 1/8 (6.35 x 3.18)

Parts

Item No.	Description	Part Number
1	Bushing Taperlock*	180-0116 to 180-0128
2	Hub, Armature	5300-541-004
3	Armature	110-0047
4	Magnet Mounting Acc.	
	Inside Mounted	5102-101-001
	Outside Mounted	5300-101-008
5	Drive Pin (3)	5300-101-003
6	Magnet	
	6 Volt I.M.	5300-631-019
	6 Volt O.M.	5300-631-024
	24 Volt I.M.	5300-631-040
6-1	Terminal Accessory	5311-101-001
7	Conduit Box	5200-101-010

*Each one digit increase in part number signifies a 1/16" (1.588) bushing bore size increase.

Fuente: WARNER ELECTRIC. Tension Control Systems for Light, Medium, and Heavy-Duty Tensioning. EEUU. Warner Electric. 2019. [consultado el: 11/ septiembre / 2019]. 60 p. Disponible en: www.altraliterature.com/-/media/Files/Literature/Brand/warner-electric/catalogs/p-771-we.ashx

ANEXO D
PLANOS CONSTRUCTIVOS.

Fuente: elaboración propia.