UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE CUENCA

CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA

Trabajo de titulación previo a la obtención del título de Ingeniero Mecánico

PROYECTO TÉCNICO:

"DESARROLLO E IMPLEMENTACIÓN DE UN DISPOSITIVO SEMIAUTOMÁTICO PARA CORTE DE BOBINAS DE PLÁSTICO (PVC) EN LA EMPRESA ARIPLAST"

AUTORES:

EDUARDO FRANCISCO ARCE LUNA
DIEGO FERNANDO MINCHALA BURI

TUTOR:

ING. JOHN IGNACIO CALLE SIGÜENCIA, PhD.

CUENCA - ECUADOR

2020

CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR

Nosotros, Eduardo Francisco Arce Luna con documento de identificación N° 0302534490 y Diego Fernando Minchala Buri con documento de identificación N° 0302238613, manifestamos nuestra voluntad y cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del trabajo de titulación: **"DESARROLLO E IMPLEMENTACIÓN DE UN DISPOSITIVO SEMIAUTOMÁTICO PARA CORTE DE BOBINAS DE PLÁSTICO (PVC) EN LA EMPRESA ARIPLAST"**, mismo que ha sido desarrollado para optar por el título de: *Ingeniero Mecánico*, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En aplicación a lo determinado en la Ley de Propiedad Intelectual, en nuestra condición de autores nos reservamos los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia, suscribimos este documento en el momento que hacemos entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, febrero del 2020

Eduardo Francisco Arce Luna
C.I. 0302534490

Diego Fernando Minchala Buri
C.I. 0302238613

CERTIFICACIÓN

Yo, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: **"DESARROLLO E IMPLEMENTACIÓN DE UN DISPOSITIVO SEMIAUTOMÁTICO PARA CORTE DE BOBINAS DE PLÁSTICO (PVC) EN LA EMPRESA ARIPLAST"**, realizado por Eduardo Francisco Arce Luna y Diego Fernando Minchala Buri, obteniendo el *Proyecto Técnico*, que cumple con todos los requisitos estipulados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, febrero del 2020

Ing. John Ignacio Calle Sigüencia, PhD.

C.I. 0102118213

DECLARATORIA DE RESPONSABILIDAD

Nosotros, Eduardo Francisco Arce Luna con documento de identificación N° 0302534490 y Diego Fernando Minchala Buri con documento de identificación N° 0302238613, autores del trabajo de titulación: **"DESARROLLO E IMPLEMENTACIÓN DE UN DISPOSITIVO SEMIAUTOMÁTICO PARA CORTE DE BOBINAS DE PLÁSTICO (PVC) EN LA EMPRESA ARIPLAST"**, certificamos que el total contenido del *Proyecto Técnico*, es de nuestra exclusiva responsabilidad y autoría.

Cuenca, febrero del 2020

Eduardo Francisco Arce Luna
C.I. 0302534490

Diego Fernando Minchala Buri
C.I. 0302238613

DEDICATORIA

A Dios y la Virgen por permitirme llegar a esta etapa importante de mi vida dándome la salud y la sabiduría para cumplir mis objetivos.

A mis padres Adrián y Sandra por brindarme su apoyo incondicional durante toda mi carrera universitaria y por su gran esfuerzo realizado para verme llegar hasta este punto de mi vida a pesar de la distancia.

A mis abuelitos, papi Guasho y mami Delia por apoyarme, guiarme y motivarme todos los días de este proceso de formación personal y académico.

A todos mis familiares y amigos que estuvieron presentes en todos los momentos vividos a lo largo de este proceso.

Paco

A Dios por haberme permitido llegar a cumplir una etapa más de mi vida, dándome sabiduría y fortaleza para superar cada obstáculo presentado.

A mis padres Rodrigo y Rocío por todo el sacrificio, sus consejos y apoyo incondicional brindado y a toda mi familia que estuvieron presentes en todos esos momentos vividos, por toda esa confianza y apoyo que me brindaron durante mi carrera profesional.

A todos mis familiares y amigos que formaron parte de este proceso académico.

Diego

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a la empresa Ariplast por confiar en nosotros para la ejecución de este proyecto de gran importancia dentro su línea de producción.

Al Ing. John Calle por la ayudaba brindada para el desarrollo de este proyecto de titulación.

También agradecemos al Tnlgo. Geovany Pineda por haber puesto a disposición todo su conocimiento y experiencia para la ejecución de este proyecto.

Paco, Diego

RESUMEN

El presente proyecto contempla el diseño, construcción e implementación de un dispositivo semiautomático cortador de bobinas de plástico PVC, para la elaboración de distintos productos escolares y suministros de oficina. Con el propósito de aumentar la producción, tener cortes precisos para ahorro de materia prima y cuidar la integridad del operario se implementó un sistema de corte semiautomático acorde a los avances tecnológicos. Inicialmente se realizó un trabajo de campo para diagnosticar la situación del proceso que se estaba desarrollando. Además, se realizó un análisis de los procesos de corte empleados en otras empresas y los distintos dispositivos que se han desarrollado en los últimos tiempos.

Una vez identificada la necesidad, se procede al diseño del dispositivo semiautomático teniendo en cuenta las condiciones y restricciones técnicas y mecánicas, además de su funcionalidad acorde a sus necesidades y espacio físico para el dimensionamiento.

Para el diseño y simulación del dispositivo se empleó el software Autodesk Inventor y AutoCAD, además de realizar un cálculo analítico de cada uno de los sistemas con sus respectivas cargas los mismos que nos permiten una evaluación de los elementos para una toma correcta de decisiones sobre el tipo de materiales y dimensiones.

Se presenta el diagrama del proceso de construcción para cada sistema describiendo los procesos de manufactura aplicados para la fabricación de cada elemento, para luego ser ensamblados, obteniendo así el dispositivo semiautomático que cumple con las características y requerimientos planteados inicialmente.

Finalmente se realiza un análisis técnico financiero donde se describe los valores de los materiales, elementos y mano de obra para determinar el costo total de la máquina. Además, se realiza un análisis de los diferentes tipos de costos: costos directos y costos indirectos para elaborar un flujo de caja y conocer la amortización de la inversión de la máquina para la empresa.

Palabras Clave: PVC, integridad, análisis, dispositivos, restricciones, simulación

ABSTRACT

This project includes the design, construction and implementation of a semi-automatic PVC plastic coil cutting device, for the elaboration of different school producers and office supplies. With the purpose of increasing production, having precise cuts for saving raw material and taking care of the integrity of the operator, a semi-automatic cutting system was implemented in accordance with technological advances. Initially a field work was carried out to diagnose the situation of the process that was being developed. In addition, an analysis of the cutting processes used in other companies and the different devices that have been developed in recent times.

Once the need has been identified, the semi-automatic device is designed taking into account the technical and mechanical conditions and restrictions, in addition to its functionality according to its needs and physical space for sizing.

For the design and simulation of the device, the Autodesk Inventor and AutoCAD software was used, in addition to performing an analytical calculation of each of the systems with their respective loads, which allow us to evaluate the elements for a correct decision making process about type of materials and dimensions.

The construction process diagram for each system is presented describing the manufacturing processes applied to the manufacture of each element, and then assembled, thus obtaining the semi-automatic device that meets the characteristics and requirements initially set.

Finally, a financial technical analysis is carried out describing the values of the materials, elements and labor to determine the total cost of the machine. In addition, an analysis of the different types of costs is performed: direct costs and indirect costs to prepare a cash flow and know the amortization of the investment of the machine for the company.

Keywords: PVC, integrity, analysis, devices, restrictions, simulation

ÍNDICE

Cesión de derechos de autor II

Certificación III

Declaratoria de responsabilidad IV

Dedicatoria V

Agradecimientos VI

Resumen VII

Abstract VIII

Índice IX

Índice de Figuras XII

Índice de tablas XVI

1. INTRODUCCIÓN 17

2. PROBLEMA 17

2.1 Antecedentes 17

2.2 Importancia y alcances 19

2.3 Delimitación 20

3 OBJETIVOS 20

3.1 Objetivo general 20

3.2 Objetivos específicos 20

4 FUNDAMENTOS TEÓRICOS 21

4.1 Dispositivos para el corte de bobinas de diferentes materiales 21

4.1.1 Cortadoras rebobinadoras 21

4.1.2 Cortadoras de corte transversal 24

4.2 Análisis de mecanismos y dispositivos para el corte de bobinas de PVC 27

4.2.1 Criterios para el diseño de elementos de máquinas 27

4.2.2 Sistemas de frenado de bobinas 29

4.2.3 Mecanismos y componentes de máquinas 31

4.2.4 Actuadores 33

4.3 Análisis de lesiones y enfermedades que se producen por la postura inadecuada del operario. 34
4.3.1 Tipos de enfermedades que afectan a la columna 34
4.3.2 Tipos de enfermedades que afectan al hombro 35
4.4 Fisiología del trabajo 36
4.4.1 Fatiga 36
4.4.2 Ergonomía en el trabajo 37
5 MARCO METODOLÓGICO 37
5.1 Levantamiento de la necesidad 39
5.2 Diseño del dispositivo 40
5.2.1 Tiempos de operación de la máquina 43
5.2.2 Diseño del sistema de sujeción y desbobinado 44
5.2.3 Diseño del rodillo de guiado 59
5.2.4 Diseño del sistema de corte longitudinal 61
5.2.5 Diseño del sistema de corte transversal. 67
5.2.6 Diseño de la trasmisión del sistema de mordazas que extienden el material. 73
5.2.7 Diseño de la placa lateral de soporte. 76
5.2.8 Diseño del sistema de movilidad de la mesa de trabajo. 78
5.2.9 Dimensionamiento de la estructura para el soporte de todos los sistemas. 79
5.2.10 Diseño del sistema neumático 83
5.2.11 Diseño del sistema eléctrico y de mando. 87
5.3 Construcción 91
5.3.1 Construcción de la estructura soporte. 92
5.3.2 Construcción del sistema de sujeción y desbobinado 94
5.3.3 Construcción del sistema de rodillo de guiado. 97
5.3.4 Construcción del Sistema de corte longitudinal. 98
5.3.5 Construcción del Sistema de corte transversal. 99
5.3.6 Construcción del sistema de arrastre de la lámina de PVC 103
5.3.7 Construcción de la mesa móvil. 105

5.3.8 Construcción y montaje de la trasmisión de potencia al sistema de arrastre de la lámina de PVC. 107
5.3.9 Implementación del sistema neumático. 109
5.3.10 Implementación del sistema eléctrico. 111
5.4 Implementación y pruebas de funcionamiento 117
5.5 Análisis técnico financiero. 118
6 Resultados 122
7 Conclusiones 126
8 Recomendaciones 127

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Posturas adoptadas en el proceso de corte transversal. 19
Figura 2. Sistemas de una cortadora rebobinadora [3] 22
Figura 3. Dimensiones de la máquina Roll Slitter slitTEC 700 [4] 22
Figura 4. Sistema de corte [5] [6] 23
Figura 5. Sistema de rebobinado [7] 23
Figura 6. Maquina cortadora rebobinadora Easy-Slit 1300 [8] 24
Figura 7. Sistemas de una cortadora de corte transversal [1] 25
Figura 8.Dimensiones de la máquina Serkon MN1 Mini MAster [9] 25
Figura 9. Sistema de corte. [10] 26
Figura 10. Cutmaster 180. [12] 27
Figura 11. Sistema de frenado por cinta o banda. [17] 29
Figura 12. Sistema de frenado de tambor y zapata. [18] 30
Figura 13. Sistema de frenado de disco. [20] 30
Figura 14. Sistema de poleas y correas. [22] 31
Figura 15. Comparación entre los principales tipos de rodamientos. [23] 32
Figura 16. Tipos de extremos de resortes de compresión. [23] 32
Figura 17. Actuador neumático de doble efecto. [26] 33
Figura 18. Motor paso a paso. [28] 34
Figura 19. Metodología para el desarrollo de un dispositivo semiautomático para el corte de bobinas de plástico. 38
Figura 20. Curva de crecimiento del nivel de producción. 40
Figura 21. Dimensiones de la bobina de plástico PVC 41
Figura 22. Dimensiones de las láminas para carpetas y folders 41
Figura 23. Propuesta de diseño para el dispositivo semiautomático. 42
Figura 24. Modelo 3D de la bobina de plástico con los apoyos. 44
Figura 25. Propiedades de figuras geométricas comunes. [35] 46
Figura 26. Diagrama de cuerpo libre de la estructura para el soporte de la bobina de plástico. 46
Figura 27. Diagrama de cuerpo libre de la bobina de plástico. 47
Figura 28. Diagrama de cuerpo libre del tramo A-B 47
Figura 29. Diagrama de cuerpo libre del tramo A-C 48
Figura 30. Diagrama del cortante y momento flector de la bobina de plástico. 48

Figura 31. Sección circular del eje..... 49
Figura 32. Sistema de frenado de la bobina de PVC 50
Figura 33. Sistema de frenado de la bobina 51
Figura 34. Manzanas de acople exterior e interior. 51
Figura 35. Eje de frenado..... 52
Figura 36. Sistema de transmisión de giro. 52
Figura 37. Dimensiones del rodamiento SKF 6006. [38]..... 53
Figura 38. Buje guía. 53
Figura 39. Tuerca de empuje. 54
Figura 40. Disco de freno. 54
Figura 41. Tambor de frenado 54
Figura 42. Accionamiento del disco sobre el tambor mediante resorte..... 55
Figura 43. Fuerza de rotación y fuerza normal..... 55
Figura 44. Resorte de compresión..... 59
Figura 45. Sistema de Rodillo de guiado..... 59
Figura 46. Dimensiones del rodamiento SKF 3204 ATN9. [41] [17] 60
Figura 47. Manzana de acople del rodillo guía..... 60
Figura 48. Sistema de corte longitudinal..... 61
Figura 49. Eje porta cuchillas 61
Figura 50. Porta cuchillas..... 62
Figura 51. Fijación de los porta cuchilla al eje. 62
Figura 52. Manzana de acople del eje porta cuchillas. 63
Figura 53. Sistema sinfín-corona. 63
Figura 54. Modelado del sinfín-corona. 67
Figura 55. Disposición de Cuchillas. 67
Figura 56. Sistema de corte transversal. 68
Figura 57. Porta cuchillas. 68
Figura 58. Especificación de rodamientos. 69
Figura 59. Guía lineal de aluminio. 69
Figura 60. Mordazas de grilón..... 70
Figura 61. Trasmisión del porta cuchilla..... 70
Figura 62. DCL del porta cuchilla 71
Figura 63. Denominaciones de motores Nema y sus características. [46]..... 73
Figura 64. Sistema de Mordazas móviles..... 73

Figura 65. DCL Carro Móvil 74
Figura 66. Sistemas ensamblados a las placas laterales. 76
Figura 67. Sistema de la mesa de trabajo. 78
Figura 68. Estructura de la mesa de trabajo 79
Figura 69. Selección del usillo. [43] 79
Figura 70. Modelo 3D de la estructura total. 80
Figura 71. Distribución de cargas en la estructura. 80
Figura 72. Distribución de cargas y reacciones en la estructura. 81
Figura 73. Diagrama de cuerpo libre de la estructura. 81
Figura 74. Diagrama del cortante y momento flector de la estructura. 82
Figura 75. Pisa Plancha. 84
Figura 76. Mordazas móviles 84
Figura 77. Seleccion de Actuador. [47] 86
Figura 78. Circuito neumático 86
Figura 79. Funcionamiento del pisa plancha 86
Figura 80. Sensor seleccionado. [48] 88
Figura 81. PLC seleccionado [49] 88
Figura 82. Pantalla seleccionado [50] 89
Figura 83. Diagrama eléctrico. [51] 90
Figura 84. Diagrama del proceso de construcción. 92
Figura 85. Proceso de corte de la estructura soporte 92
Figura 86. Proceso de corte de la estructura soporte 93
Figura 87. Fijación de las ruedas. 93
Figura 88. Soldadura de la estructura soporte. 93
Figura 89. Estructura soporte terminada. 94
Figura 90. Diagrama del proceso de construcción. 94
Figura 91. Torneado de los ejes. 95
Figura 92. Prensado. 95
Figura 93. Soldadura de las piezas 95
Figura 94. Buje guía roscado 96
Figura 95. Tambor de frenado 96
Figura 96. Ensamble de todos los componentes 96
Figura 97. Diagrama del proceso de construcción. 97
Figura 98. Injerto de eje en los extremos del tubo. 97

Figura 99. Manzana de acople. 97
Figura 100. Diagrama del proceso de construcción. 98
Figura 101. Disposición de porta cuchillas en el eje. 98
Figura 102. Sinfín – corona instalado. 98
Figura 103. Diagrama del proceso de construcción. 99
Figura 104. Cortado de la plancha de grilón 99
Figura 105. Fresado del pisa plancha de grilón. 100
Figura 106. Fijado del pisa plancha y guía lineal. 100
Figura 107. Fijado de los soportes de pistón. 101
Figura 108. Ensamble de todo el sistema. 101
Figura 109. Taladrado de agujeros. 102
Figura 110. Instalación de las placas laterales de apoyo. 102
Figura 111. Diagrama del proceso de construcción. 103
Figura 112. Fijación de guías laterales 103
Figura 113. Obtención de agujeros roscados. 104
Figura 114. Fijación de la mordaza inferior a la guía. 104
Figura 115. Fijación de los pistones a la mordaza superior. 104
Figura 116. Pisa plancha y mordaza móvil ensamblados en el dispositivo. 105
Figura 117. Diagrama del proceso de construcción. 105
Figura 118. Soldado y fijación de los soportes del husillo de bolas. 105
Figura 119. Corte de las placas de soporte de la mesa. 106
Figura 120. Instalación de las placas de soporte de la mesa. 106
Figura 121. Ensamblado final de la mesa móvil. 106
Figura 122. Diagrama del proceso de construcción 107
Figura 123. Ensamble motor, chumaceras y eje. 107
Figura 124. Montaje de las poleas dentadas. 108
Figura 125. Montaje y tensado de la banda dentada. 108
Figura 126. Componentes listos para el proceso de pintado. 109
Figura 127. Dispositivo semiautomático pintado y recubierto. 109
Figura 128. Unidad de mantenimiento 110
Figura 129. Instalación de electroválvulas. 110
Figura 130. Conexión de los elementos neumáticos. 111
Figura 131. Construcción del tablero de mando. 111
Figura 132. Ubicación del tablero de mando. 112

Figura 133. Tablero de mando. 112
Figura 134. Tablero eléctrico. 113
Figura 135. Instalación de sensores inductivos. 113
Figura 136. Conexión de los motores NEMA. 113
Figura 137. Conexión de los sensores. 114
Figura 138. Cableado del panel de control. 114
Figura 139. Cableado del panel de control. 114
Figura 140. Pantalla inicial 115
Figura 141. Modo manual 115
Figura 142. Modo automático 115
Figura 143. Diagrama de funcionamiento 116
Figura 144. Prueba de extendido del material 117
Figura 145. Sistema de corte transversal. 117
Figura 146. Prueba del corte transversal 117
Figura 147. Análisis computacional de la estructura 123
Figura 148. Sistema de retorno por resorte. 125
Figura 149. Sistema de trasmisión de la mesa de trabajo 125

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Historial de ventas. 18
Tabla 2. Datos técnicos de la cortadora rebobinadora. 22
Tabla 3. Datos técnicos de la cortadora transversal. [1] 25
Tabla 4. Datos técnicos de la cortadora [11] 27
Tabla 5. Características PLC. [49] 89
Tabla 6. Características pantalla. [50] 90
Tabla 7. Costo del sistema mecánico 118
Tabla 8. Costo del sistema eléctrico y de control 119
Tabla 9. Costo del sistema neumático 120
Tabla 10. Costo de materiales y equipos 120
Tabla 11. Costo total mano de obra directa 120
Tabla 12. Costo total del dispositivo semiautomático. 121
Tabla 13. Inversión a 1 año del dispositivo. 121
Tabla 14. Datos históricos de Ventas 121
Tabla 15. Flujo de caja 122

1. INTRODUCCIÓN

Dentro del proceso de fabricación de carpetas, folders y suministros de oficina encontramos la etapa de corte de las bobinas de plástico para obtener las láminas que luego formarán parte del producto final. El corte de dichas bobinas de plástico al ser realizado de manera manual mediante herramientas corto punzantes no se tiene cortes precisos lo que genera desperdicios de material y además el operario adopta posiciones incomodas para realizar este corte. En el mercado existen dispositivos automáticos y semiautomáticos que realizan cortes de bobinas tanto de plástico y otros materiales de manera precisa y reduciendo la mano de obra de operario [1], sin embargo, la adquisición de estos resulta difícil debido al elevado costo y al tiempo de importación ya que no se encuentran disponibles en el país.

En el siguiente documento se aborda el diseño y construcción de un dispositivo semiautomático que cumple con dicha labor de corte partiendo de la necesidad específica de la empresa Ariplast para dar solución a los problemas que se presentan en esta etapa del proceso productivo.

2. PROBLEMA

2.1 Antecedentes

ARIPLAST es una micro empresa ubicada en la provincia del Cañar, ciudad de Azogues, en las calles Aurelio Jaramillo y Augusto Sacoto, puesta en marcha el 17 de febrero del 2014 dedicada a la producción de suministros escolares y materiales de oficina como carpetas tapa transparente, forro mica y forros encapsulados en sus tres tamaños que son para cuadernos junior, cocidos y los universitarios, carpeta archivadora doble anillo, etc.

Desde el inicio en la micro empresa ARIPLAST se han ido desarrollando un conjunto de procesos manuales y artesanales para la elaboración de todos sus productos, los mismos han tenido una aceptación positiva en el mercado local y regional, lo que origina que la empresa esté en una tendencia positiva de crecimiento de acuerdo a los análisis realizados con datos históricos de la demanda de la micro empresa. (Tabla 1)

Tabla 1. Historial de ventas.

Ventas			
Año	**Forros**	**Carpetas**	**Forro Encapsulado**
2014	3000	5000	500
2015	8000	12000	3000
2016	20000	30000	10000
2017	50000	70000	20000
2018	65000	90000	30000

El proceso de elaboración de los productos en la micro empresa ARIPLAST comienza con la obtención de la materia prima hacia la bodega, luego el proceso de corte transversal y longitudinal de las bobinas de plástico (PVC), ensamblaje de los elementos que contiene cada producto para que a continuación se desarrolle el sellado, retiro de sobrante en el producto final, conteo y control de calidad del producto, empaquetamiento y almacenamiento para su posterior distribución.

En el proceso de corte transversal y longitudinal de la materia prima para la obtención del producto final se presenta un problema, debido a que la operación se está desarrollando en dos etapas que comprende: la etapa 1 el corte transversal y la etapa 2 el corte longitudinal.

En la etapa 1 el corte transversal se lo hace de manera manual mediante herramientas cortopunzantes (Figura 1), por lo que al realizar el corte de las bobinas de plástico (PVC) en tiras con dimensiones requeridas de acuerdo al producto que se esté fabricando, genera una mala postura de trabajo en el operario que realiza esta función como se observa en la figura 1, además le obliga a permanecer de pie en un punto fijo por varias horas, esto le causa molestias en la salud y considerando el incremento de producción genera el incremento de tiempo de trabajo para el operario que está ejerciendo esa función. Además, se debe mencionar que el operario está expuesto a fatiga lo que ocasionará problemas futuros en la columna vertebral y en el brazo. [2]

Adicional a esto, el método de realizar el corte transversal de las bobinas de plástico (PVC) de una manera manual genera desperdicio de materia prima ya que el corte no es preciso y esto se ve repercutido en costos para la microempresa.

Figura 1. Posturas adoptadas en el proceso de corte transversal.

En la etapa 2 las tiras obtenidas en la etapa 1 son cortadas longitudinalmente con una guillotina, para obtener la pieza con las dimensiones requeridas para la elaboración de los productos.

La empresa al tener un incremento en la productividad y contando actualmente con un proceso manual, no favorece a las condiciones óptimas de trabajo para el operario generando un cuello de botella en el proceso productivo. A demás de no contar con un corte preciso el desperdicio de material generado es un incremento significativo a los costos de producción.

2.2 Importancia y alcances

En el presente proyecto se describe el diseño y construcción de un dispositivo semiautomático para el corte de bobinas de plástico para sustituir el trabajo manual y repetitivo que causa lesiones y enfermedades en el operario. Esta tarea ocasiona afectaciones ocupacionales a la salud de la persona quien de forma manual y artesanal realiza este proceso a lo largo de 8 horas diarias.

Ante este problema se plantea una alternativa, al diseñar y posteriormente construir una máquina que realice el mismo trabajo reemplazando el esfuerzo humano mediante la automatización y optimización del proceso de corte, además disminuir tiempos de producción y mejorar la calidad del producto final generando ahorro de material al obtener un corte más preciso y pudiendo utilizar la mano de obra empleada en otras actividades dentro de la empresa.

Los procesos de manufactura existentes posibilitan construir el dispositivo semiautomático garantizando un producto confiable de un rendimiento óptimo en su funcionalidad dentro de la empresa y posteriormente ser ofertado en el mercado nacional.

2.3 Delimitación

El proyecto será desarrollado en la provincia del Cañar en el cantón Azogues en la empresa Ariplast. Para el correcto desarrollo del diseño del dispositivo se cuenta con los servicios profesionales del propietario de dicho taller, que cuenta con la experiencia y conocimientos necesarios para el diseño, construcción e implementación del dispositivo semiautomático. En la construcción de dispositivo contrataremos los servicios del taller Engama[1] que se encuentra en la localidad, que dispone de los recursos necesarios para la construcción del dispositivo tales como: torno convencional, fresadora universal, máquina de soldadura, cortadoras, taladro, prensa hidráulica y todo tipo de herramientas.

3 OBJETIVOS

3.1 Objetivo general

Desarrollar un dispositivo para automatizar y mejorar la operación de corte de bobinas de plástico (PVC) en ARIPLAST para la fabricación de suministros escolares y materiales de oficina considerando el crecimiento de la producción, la posibilidad de lesiones del operario, la ergonomía y estética del dispositivo

3.2 Objetivos específicos

- Identificar y describir la situación actual del área de corte dentro de la microempresa, además analizar dispositivos de corte de plástico PVC que otras empresas utilizan para el desarrollo de sus productos.

- Diseñar el dispositivo considerando los parámetros y condiciones establecidos en la planta, utilizando software de ingeniería que nos facilite el modelado y simulación del sistema.

- Construir un dispositivo semiautomático mediante distintos procesos de manufactura convencional y especial, con materiales disponibles en el mercado, que sean de

[1] Empresa dedicada al diseño, construcción y reconstrucción de piezas mecánicas para brindar mantenimiento industrial a diferentes empresas.

inmediata adquisición y de alta calidad, y realizar pruebas de funcionamiento para garantizar un correcto rendimiento del dispositivo.

- Desarrollar un análisis técnico-financiero para determinar el costo del dispositivo semiautomático y la amortización del mismo.

4 FUNDAMENTOS TEÓRICOS

Para conceptualizar un correcto diseño del dispositivo en primer lugar se realiza un análisis de los diferentes dispositivos que se han desarrollado a nivel mundial para este tipo de procedimientos lo que generará las diferentes ideas que permitirán un diseño eficiente del dispositivo semiautomático. Posterior a esto se hará un análisis de los diferentes mecanismos, dispositivos y sistemas que podemos utilizar en el diseño de máquinas de este tipo.

Finalmente se estudiarán los diferentes tipos de enfermedades que se pueden producir por las posturas que adquiere el operario cuando está trabajando en esta tarea, para lograr diseñar y construir un dispositivo ergonómico.

4.1 Dispositivos para el corte de bobinas de diferentes materiales

A consecuencia del avance tecnológico se ha desarrollado varios dispositivos que permiten realizar el corte automático de bobinas de diferentes materiales obteniendo cortes precisos y evitando así el desperdicio de materia prima. Entre los tipos de máquinas podemos encontrar las cortadoras rebobinadoras y de corte transversal.

4.1.1 Cortadoras rebobinadoras

Se trata de máquinas destinadas a cortar desde la zona de desbobinado con freno el material que pasa por un sistema de guía lateral y es cortada por cuchillas ubicadas en un bastidor de soporte. Después, las bandas individuales son enrolladas en la zona de rebobinado para formar nuevas bobinas más pequeñas con diámetro, anchura y longitud de banda determinados. (Figura 2).

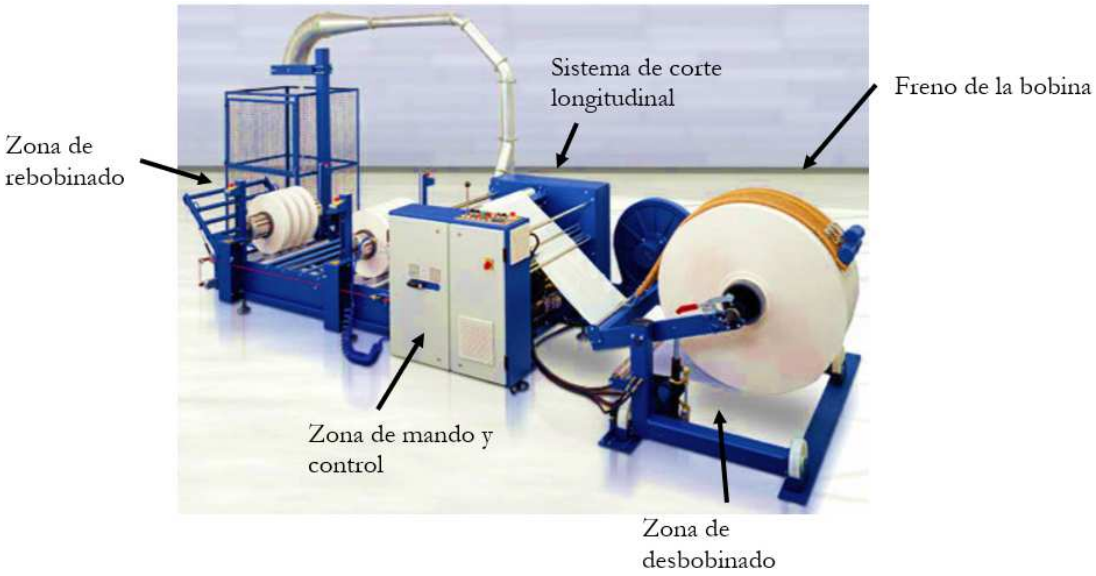


Figura 2. Sistemas de una cortadora rebobinadora [3]

- **Cortadora rebobinadora Roll Slitter slitTEC 700.**

➢ Datos técnicos (Figura 2)

Tabla 2. Datos técnicos de la cortadora rebobinadora.

Ancho material (máx.)	700 mm
Diámetro bobina - estación de desbobinado	1500 mm
Diámetro bobina - estación de rebobinado	1200 mm
Velocidad de trabajo (máx.)	100 m/min

➢ Dimensiones de la máquina (Figura 3)

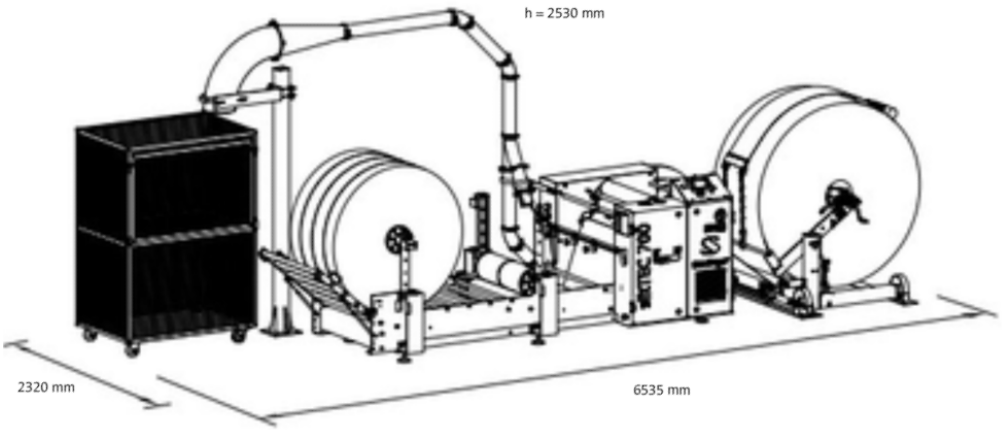


Figura 3. Dimensiones de la máquina Roll Slitter slitTEC 700 [4]

- Sistema de corte de alta precisión

El sistema de corte de alta precisión realizado mediante cuchillas triangulares garantiza una calidad alta y constante de los rollos de tela y, en consecuencia, un producto final de alta calidad. (Figura 4)

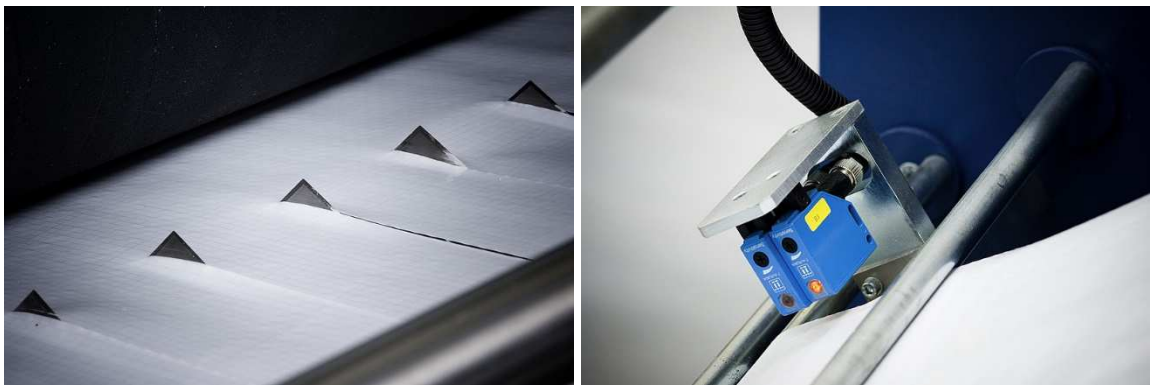


Figura 4. Sistema de corte [5] [6]

- Sistema de rebobinado

El sistema de rebobinado consta de 9 rodillos móviles independientes los cuales se pueden posicionar a lo largo de un eje y combinarse dependiendo del ancho de banda que se necesite. (Figura 5)

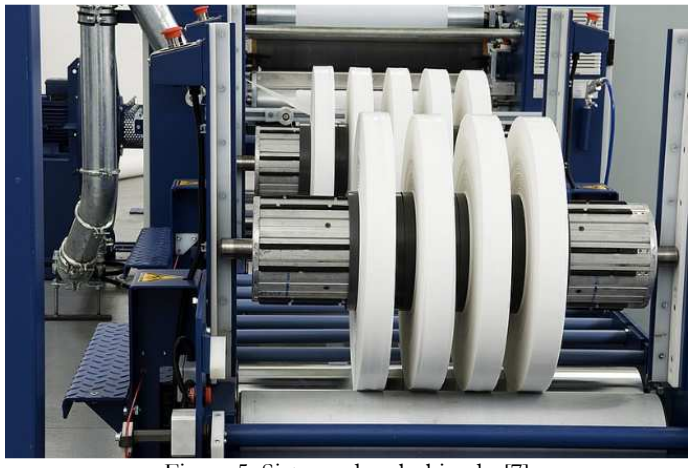


Figura 5. Sistema de rebobinado [7]

El costo aproximado de este dispositivo es de $15.000,00 sin considerar el costo de importación ya que no se encuentra disponible en el medio local.

- **Cortadora Rebobinadora Easy-Slit 1300 [8]**

La cortadora-rebobinadora Easy-Slit 1300 de *Llorens Planas* está indicada para materiales como papeles, plásticos, films y complejos. Cuenta con un ancho útil de 1.300 mm, un diámetro máximo de las bobinas de entrada de 1.000 mm, un diámetro interior de bobinas entrada de

76/152 mm, un diámetro máximo de bobinas de salida de 600 mm y un diámetro interior de bobinas de salida de 76/152 mm. El ancho mínimo de corte es de 30 mm y la velocidad de 400 m/min.

Esta cortadora-rebobinadora está equipada con control de tensión por bailarín o célula de carga, guiador de banda automático y corte por cuchillas circulares y "guillettes". Está provista de un motor independiente para las cuchillas y un motor independiente y control de tensión a cada eje rebobinador. Los ejes rebobinadores tienen fricciones independientes. La percha es de descarga motorizada hidráulica. También dispone de control de todas las funciones de la máquina por Panel View. (Figura 6)

Figura 6. Maquina cortadora rebobinadora Easy-Slit 1300 [8]

El costo aproximado de este dispositivo es de $15.000,00 sin considerar el costo de importación ya que no se encuentra disponible en el país.

4.1.2 Cortadoras de corte transversal

Son máquinas que cortan las bobinas de ancho preestablecido por el fabricante en una serie de láminas de una medida determinada pudiendo ser normalizada o no normalizada. (Figura 7).

- **Cortadora de corte transversal Serkon MN1 Mini Master.** [1]

Fácil estiramiento de todos los materiales. Panel de control totalmente automático. Fácil de usar mediante pantalla táctil. Estira telas pesadas con sistema de control electrónico. Varias opciones de velocidad para realizar movimientos hacia adelante / hacia atrás.

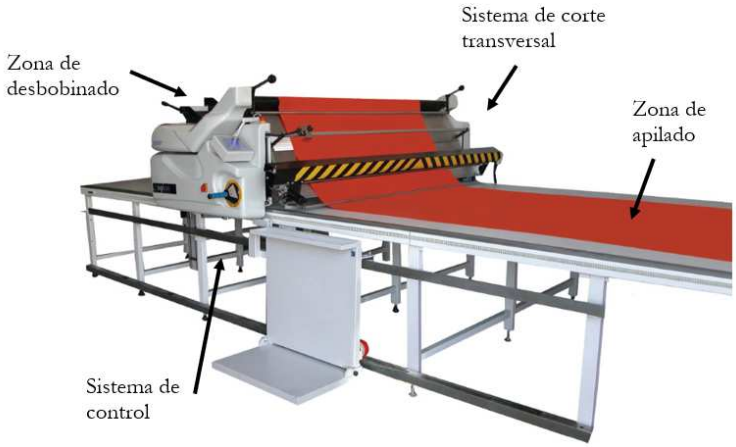


Figura 7. Sistemas de una cortadora de corte transversal [1]

Sistema de control de borde sensible para diferentes velocidades. Parada automática con sensores de seguridad. Operación desde la plataforma.

- Datos técnicos (Tabla 3)

Tabla 3. Datos técnicos de la cortadora transversal. [1]

Altura máxima de extensión con el dispositivo de corte	250 mm
Altura máxima de estiramiento en zigzag	220 mm
Altura máxima de extensión con unidad tubular	200 mm
Diámetro máximo del rodillo	450 mm
Peso máximo rollo	120 Kg
Velocidad máxima de estiramiento	100 m/min
Ancho del material	1600-2400 mm
Ancho de la mesa	1820-2620 mm
Potencia eléctrica	3 kW / 220 V / 50 Hz

- Dimensiones de la máquina (Figura 8)

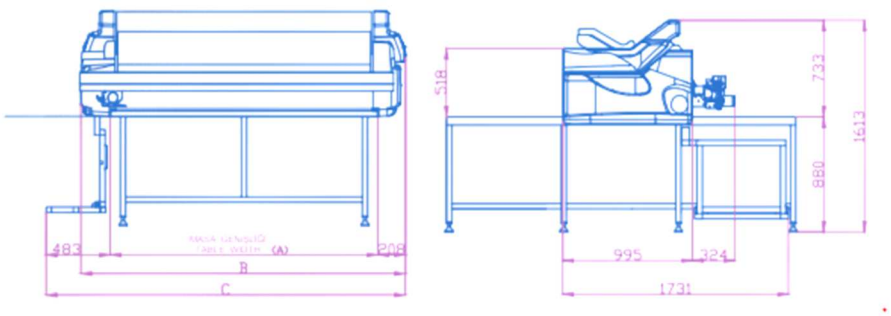


Figura 8.Dimensiones de la máquina Serkon MN1 Mini MAster [9]

➢ Sistema de corte

El corte se realiza mediante cuchilla redonda acoplada a un pequeño motor que le transmite el giro a dicha cuchilla para lograr un corte suave y preciso. (Figura 9)

Figura 9. Sistema de corte. [10]

El costo aproximado de este dispositivo es de $22.000,00 esto sin considerar el costo de importación ya que no se encuentra disponible en el país ya que la maquina es fabricada en Suiza.

- **Cutting table with manual spreader cutmaster 180 / Mesa de corte con esparcidor manual cutmaster 180. [11]**

La mesa tendedora CUTMaster se utiliza en la industria de la confección, la industria del mueble, del automóvil y otros. La precisión, la estabilidad de la estructura y la cantidad de opciones posibles del equipo son las características distintivas de la mesa de distribución.

El diseño modular permite que el sistema se adapte a las necesidades y facilita el transporte y la instalación en la sala de corte. (Figura 10)

Funciones básicas y opciones adicionales:

- Cualquier longitud (en segmentos de 1,40 m).
- Estructura de acero con recubrimiento en polvo.
- Pistas del carretil fabricado de acero galvanizado.
- La altura de la mesa es ajustable.
- Cortador extremo profesional: manual o automático.

- Ajustadora manual o eléctrica.
- Compartimientos auxiliares.
- Tablero para desarrollar el material de paleta.
- Conos adicionales de gran diámetro de tubos.
- Sistema de alimentación eléctrica ubicada en la parte inferior.

Figura 10. Cutmaster 180. [12]

- Datos técnicos (Tabla 4)

Tabla 4. Datos técnicos de la cortadora [11]

Ancho de la mesa	1820 mm
Espesor de la mesa	25mm
Longitud de la mesa	Longitud variable
Capacidad de difusión	200 mm

El costo aproximado de este dispositivo es de $8.000,00 sin considerar el costo de importación ya que no se encuentra disponible en el país.

4.2 Análisis de mecanismos y dispositivos para el corte de bobinas de PVC

4.2.1 Criterios para el diseño de elementos de máquinas

Al diseñar una máquina se deben satisfacer especificaciones que establecen las condiciones técnicas del sistema. Estas especificaciones se refieren al peso, longevidad, velocidad, funcionamiento, tamaño, material y costo. En ciertos casos se formulan otras

especificaciones tales como trabajo silencioso, facilidad de transporte, facilidad de mantenimiento, etc.

Las decisiones que se toman durante el proceso de diseño se basan en el análisis de todos los factores involucrados en el proyecto. Sin embargo. algunos factores son decisivos para el correcto funcionamiento de la máquina y se deben tomar como criterios principales.

De acuerdo a lo anterior, un criterio importante a tener en cuenta es la comprobación de la capacidad de carga de los elementos encargados de transmitir fuerza. La forma geométrica de la pieza, sus dimensiones y el material, deben satisfacer ciertos requisitos de resistencia, rigidez y característica dinámica apropiada. Estos factores determinaran la capacidad de carga del elemento. [13]

- **Factor de seguridad**

Los ingenieros emplean el factor de seguridad para asegurarse contra condiciones inciertas o desconocidas. Los factores de seguridad a veces están prescritos en códigos, pero en la mayoría de las veces son fruto de la experiencia.

El factor de seguridad es la relación entre el esfuerzo normal permisible y el esfuerzo normal de diseño.

$$n_s = \frac{\sigma_{per}}{\sigma_d} \tag{1}$$

Si $n_s > 1$ el diseño es adecuado. Entre mayor sea ns más seguro será el diseño. [14]

Para determinar el (FS) dependiendo de la aplicación, la naturaleza de las cargas sobre el componente que se va a diseñar, el análisis de esfuerzos, las propiedades del material y el grado de confianza en los datos que se emplean en el proceso de diseño, se siguen ciertos convenios que se detallan a continuación:

FS = 1,25 – 2. El diseño de estructuras bajo cargas estáticas, para las que haya un alto grado de confianza en todos los datos del diseño

FS= 2 – 2,5. Diseño de elementos de máquinas bajo cargas dinámicas con una confianza promedio en todos los datos de diseño.

FS= 2,5 – 4. Diseño de estructuras estáticas o elementos de máquinas bajo cargas dinámicas con incertidumbre acerca de las cargas, propiedades de los materiales, análisis de esfuerzos o el ambiente.

FS = 4 o más. Diseño de estructuras estáticas o elementos de máquinas bajo cargas dinámicas, con incertidumbre en cuanto alguna combinación de cargas, propiedades del material, análisis de esfuerzos o el ambiente. El deseo de dar una seguridad adicional a componentes críticos puede justificar también el empleo de estos valores. [15]

4.2.2 Sistemas de frenado de bobinas

Este tipo de sistemas permiten detener el desbobinado en el momento en que el arrastre de la lámina sobre la mesa de trabajo se detiene, evitando así el desenrollado no controlado de la bobina debido a la inercia del mismo. Al proporcionar una tensión adecuada en la lámina de PVC se evita que se produzcan arrugas y se consigue un mejor arrastre. También el tener una lámina tensada correctamente, facilita la penetración de las cuchillas de corte. Se presentas los siguientes sistemas de frenado:

- **Sistema de frenado de banda**

El freno de banda es muy utilizado en la industria para frenar e inmovilizar partes en rotación, dada su simplicidad y seguridad, y se usan en variadas aplicaciones, desde pequeños frenos para dispositivos domésticos hasta en lugares de alta responsabilidad y tamaño como: elevadores tirados por cables, grúas, maquinaria de minas y otras muchas.

El elemento de trabajo es una banda flexible, que rodea la bobina o tambor (Figura 11). Esta banda está recubierta con un material especial con alto coeficiente de fricción para aumentar la fuerza de frenado. Cuando se aplica una fuerza adecuada a la palanca, esta tenderá a girar en un pivote, y apretará la banda fuertemente contra el tambor para frenarlo. [16]

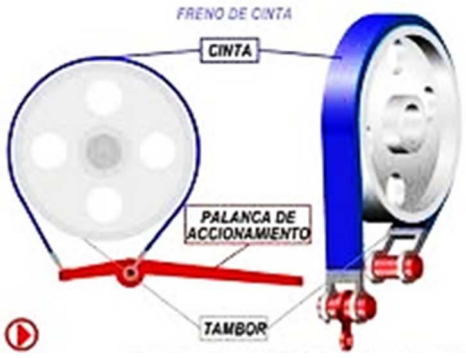


Figura 11. Sistema de frenado por cinta o banda. [17]

- **Sistema de frenado de tambor y zapata**

El freno de tambor es un tipo de freno en el que la fricción se causa por un par de zapatas o pastillas que presionan contra la superficie interior de un tambor giratorio, el cual está conectado al eje o la rueda. (Figura 12)

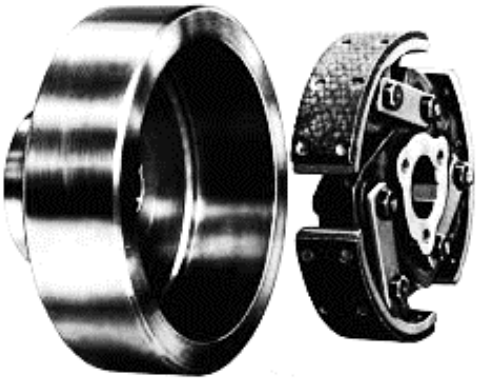
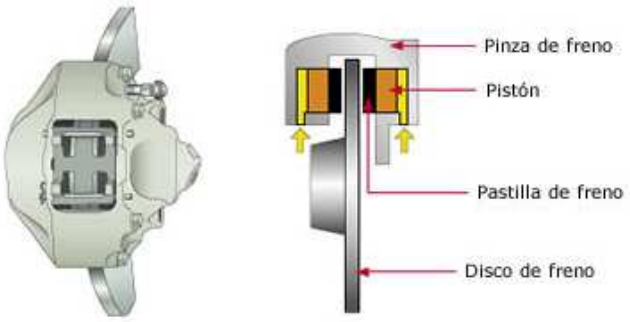


Figura 12. Sistema de frenado de tambor y zapata. [18]

- **Sistema de frenado de disco**

El freno de disco es un sistema de frenado usado normalmente para ruedas de vehículos, en el cual una parte móvil (el disco) solidario con la rueda que gira es sometido al rozamiento de unas superficies de alto coeficiente de fricción (las pastillas) que ejercen sobre ellos una fuerza suficiente como para transformar toda o parte de la energía cinética del vehículo en movimiento, en calor, hasta detenerlo o reducir su velocidad, según sea el caso (Figura 13). [19]



Esquema de un freno de disco con mordaza fija

Figura 13. Sistema de frenado de disco. [20]

4.2.3 Mecanismos y componentes de máquinas

- **Sistema de poleas y correas**

Para el movimiento de los diferentes sistemas del dispositivo se va utilizar el sistema de poleas y correas dentadas (figura 14).

Las poleas son ruedas con una o varias hendiduras en la llanta, sobre las cuales se apoyan las correas. Las correas son cintas cerradas de cuero y otros materiales que se emplean para transmitir movimiento de rotación entres dos ejes generalmente paralelos. Pueden ser de forma plana, redonda, trapezoidal o dentada.

Los sistemas de transmisión de poleas y correas se emplean para transmitir la potencia mecánica proporcionada por el eje del motor entre dos ejes separados entre sí por una cierta distancia. Este sistema se emplea cuando no se quiere transmitir grandes potencias de un eje a otro. Su principal inconveniente se debe a que el resbalamiento de la correa sobre la polea produce pérdidas considerables de potencia; sobre todo en el arranque. Para evitar esto parcialmente se puede utilizar una correa dentada, que aumenta la sujeción. [21]

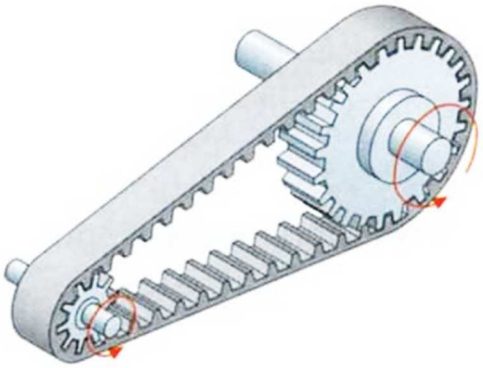


Figura 14. Sistema de poleas y correas. [22]

- **Ejes**

Los ejes son componentes de dispositivos mecánicos que transmiten movimiento rotatorio y potencia. Es la parte de cualquier sistema mecánico donde la potencia se transmite desde un motor, que puede ser un motor eléctrico o uno de combustión, a otras partes giratorias del sistema. [23]

- **Rodamientos**

El propósito de un cojinete es soportar una carga y al mismo tiempo permitir el movimiento relativo entre dos elementos de una máquina. El tipo más común de cojinete

soporta un eje rotatorio, y resiste cargas puramente radiales, o una combinación de cargas radiales y axiales. Algunos cojinetes usan elementos rodantes, como bolas esféricas o rodillos cilíndricos o cónicos. Con ello se obtiene un coeficiente de fricción muy bajo

Se puede visualizar una comparación entre los principales tipos de rodamientos existentes. (Figura 15)

Tipo de rodamiento	Capacidad de carga radial	Capacidad de carga de empuje	Capacidad de desalineamiento
Una hilera de bolas.	Buena	Regular	Regular
Doble hilera de bolas.	Excelente	Buena	Regular
Contacto angular.	Buena	Excelente	Mala
Rodillos cilíndricos.	Excelente	Mala	Regular
Agujas.	Excelente	Mala	Mala
Rodillos esféricos.	Excelente	Regular a buena	Excelente
Rodillos cónicos.	Excelente	Excelente	Mala

Figura 15. Comparación entre los principales tipos de rodamientos. [23]

- **Resortes**

Un resorte es un elemento flexible que ejerce una fuerza o un par torsional y, al mismo tiempo, almacena energía. La fuerza puede ser lineal, de empuje o de tracción, o puede ser radial. En forma inherente, los resortes almacenan energía cuando se flexionan, y regresan la energía cuando se quita la fuerza que causo la deflexión. Los resortes pueden ser clasificados según la dirección y la naturaleza de la fuerza que ejercen cuando se deflexionan como: de empuje, de tracción, radial y de torsión.

En los resortes helicoidales de compresión, un alambre redondo se enrolla y forma un cilindro con paso constante entre las espiras adyacentes. (Figura 16) se muestran cuatro configuraciones prácticas de los extremos de resortes. [23]

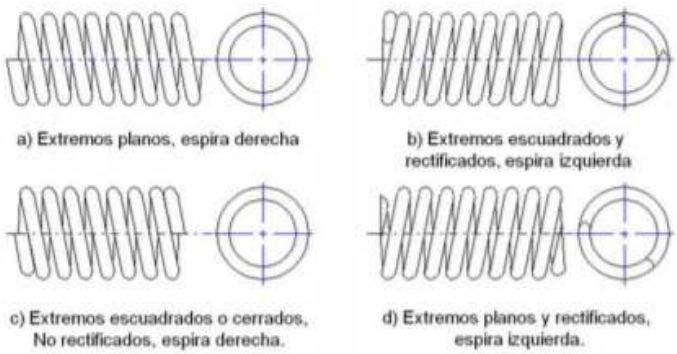


Figura 16. Tipos de extremos de resortes de compresión. [23]

- **Sujetadores**

Un sujetador es cualquier objeto que se use para conectar o juntar dos o más componentes. En forma literal, se dispone de cientos de tipos de sujetadores y sus variaciones. Los más comunes son los roscados, a los cuales se les conoce con muchos nombres, entre ellos pernos, tornillos, tuercas, espárragos, prisioneros, etc.

En las máquinas, la mayoría de los tornillos son de acero, por su alta resistencia, gran rigidez, buena ductilidad y buena facilidad de maquinado y formado. [23]

4.2.4 Actuadores

Son dispositivos inherentemente mecánicos cuya función es proporcionar fuerza para mover o "actuar" otros dispositivos mecánicos. La fuerza que provoca un actuador proviene de tres fuentes posibles: presión neumática, presión hidráulica y fuerza motriz eléctrica (motor eléctrico o solenoide). Dependiendo del origen de la fuerza el actuador se denomina "neumático", "hidráulico" o "eléctrico". [24]

- **Actuador neumático**

Los actuadores neumáticos establecidos como mecanismos que convierten la energía del aire comprimido en trabajo mecánico por medio de un movimiento lineal de vaivén, o de motores. [25]

Cilindros de doble efecto

Los cilindros de doble efecto (figura 17) se emplean especialmente en los casos en que el émbolo tiene que realizar una misión también al retornar a su posición inicial, ya que hay un esfuerzo neumático en ambos sentidos. [25]

Figura 17. Actuador neumático de doble efecto. [26]

- **Actuador eléctrico**

Servo Motor

Un servo motor se define como un motor utilizado para obtener una salida precisa y exacta en función del tiempo. Dicha salida esta expresada habitualmente en términos de posición, velocidad y/o torque. [27]

Los motores paso a paso son ideales para la construcción de mecanismos en donde se requieren movimientos muy precisos. (Figura 18) La característica principal de estos motores es el hecho de poder moverlos un paso a la vez por cada pulso que se le aplique. Este paso puede variar desde 90° hasta pequeños movimientos de 1.8°, Es por eso que ese tipo de motores son muy utilizados, ya que pueden moverse a deseo del usuario según la secuencia que se les indique a través de un microcontrolador. [28]

Figura 18. Motor paso a paso. [28]

4.3 Análisis de lesiones y enfermedades que se producen por la postura inadecuada del operario.

Existe afectaciones a diferentes partes del cuerpo que se producen por realizar el trabajo en una postura inadecuada y por largas jornadas laborales. Entre ellas tenemos:

4.3.1 Tipos de enfermedades que afectan a la columna

La columna vertebral está formada por 26 huesos llamados vértebras. Las vértebras protegen la médula espinal y le permiten mantenerse de pie e inclinarse. Hay varios problemas que pueden alterar la estructura de la columna o lesionarle las vértebras y el tejido que las rodea. [29]

- **Lumbalgia, una enfermedad laboral común**

"La lumbalgia es el dolor que se produce en la parte baja de la espalda o área lumbar; el dolor puede ser agudo, es decir, provocado por una causa inmediata como un mal esfuerzo, o puede ser crónico, que es la manifestación de que algo no anda bien desde hace rato".

Según profesionales de la salud, el 50% de las consultas por lumbalgia están relacionadas con afecciones por el trabajo.

Existen varios agentes laborales que pueden causarla. "El estrés laboral es el factor más común que pone a las personas en riesgo de sufrir dolores lumbares; luego encontramos la sobrecarga en horas de trabajo, el hecho de permanecer mucho tiempo de pie o sentado, la falta de ergonomía en el lugar de trabajo, las malas posturas y la carga de objetos muy pesados sin elementos adecuados que eviten la lumbalgia (en el caso de quienes trabajan con maquinaria pesada)". [30]

- **Hernia discal**

Ocurre cuando todo o parte de un disco de la columna es forzado a pasar a través de una parte debilitada del disco. Esto puede ejercer presión sobre los nervios cercanos o la médula espinal.

Las hernias discales ocurren con mayor frecuencia en los hombres de mediana edad y de edad avanzada, generalmente después de una actividad extenuante. Otros factores de riesgo pueden incluir: [31]

- Levantar objetos pesados.
- Tener sobrepeso.
- Doblar o torcer repetitivamente la espalda baja.
- Sentarse o quedarse parado en la misma posición por muchas horas.
- Tener un estilo de vida sedentario.
- Tabaquismo.

4.3.2 Tipos de enfermedades que afectan al hombro

La articulación del hombro se compone de tres huesos: la clavícula, el omóplato y el húmero. Sus hombros son las articulaciones más móviles y más inestables del cuerpo y puede lesionarse fácilmente.

- **Lesión por esfuerzo repetitivo (LER)**

La lesión por esfuerzo repetitivo (LER) es una afección dolorosa generalmente asociada con una actividad particular que se hace repetidamente, o por largos períodos de tiempo. A menudo se encuentran asociadas con el trabajo en computadoras y mecanografiar o hacer trabajos manuales repetitivos, pero también pueden ocurrir en personas que no hacen este tipo de tareas con regularidad.

El término LER abarca una serie de lesiones musculares que puede afectar las manos, los brazos y la parte superior del cuerpo. [32]

Causas de las LER [32]

Existen muchos factores que pueden aumentar su riesgo de desarrollar LER, incluyendo:

- Actividades repetitivas
- Hacer una actividad que involucre fuerza, tal como levantar o trasladar objetos pesados.
- Llevar a cabo una actividad por un largo período sin períodos de descanso adecuados.
- Una mala postura o actividades que requieren que trabaje en posturas incómodas o agotadoras.
- Utilización de equipos de vibración.
- Trabajar en un ambiente frío.

4.4 Fisiología del trabajo

El objetivo de la fisiología del trabajo es la adaptación del trabajo a la persona tratando de evitar esfuerzos y fatigas inútiles mediante métodos de trabajo racionales y económicos. [33]

4.4.1 Fatiga

La fatiga es el descenso reversible de la capacidad funcional de un órgano como consecuencia de una actividad, y está muy relacionada con el ritmo en la realización del trabajo.

El ritmo es la velocidad de sucesión de movimientos regularmente repetidos, como la marcha, la respiración, etc. Cada persona tiene su ritmo propio, pulmonar y cardíaco, que si se altera puede ocasionar graves consecuencias para su salud. [33]

Diferentes clases de fatiga [33]

- **Fatiga muscular:** su causa es el esfuerzo; cuanto mayor es éste, mayor será la fatiga muscular.
- **Fatiga estática:** su causa es la inmovilidad; cuanto más incómoda sea la postura, mayor será la fatiga.
- **Fatiga neurosensorial:** su causa es la utilización intensiva de la vista o el oído, una tensión nerviosa o estar sometido a un ruido excesivo.
- **Fatiga mental:** su causa es la atención o reflexión constantes**.**
- **Fatiga por monotonía muscular:** se produce debido a la rápida intoxicación de los músculos alternativamente contraídos y relajados. La monotonía puede dar lugar a movimientos aberrantes, responsables en muchas ocasiones de accidentes.

4.4.2 Ergonomía en el trabajo

Sabemos que la ergonomía en el trabajo es uno de los aspectos más importantes de salud laboral puesto que muchas dolencias tienen su origen en una posición inadecuada. La ergonomía es la disciplina que estudia la vinculación constante entre el entorno de trabajo y al profesional con el fin de analizar las carencias y reforzar los recursos necesarios para ofrecer el mayor bienestar a los/as trabajadores/as durante el horario de trabajo.

Las normas ISO de ergonomía (ISO normas 11228-1, 11228-2 y 11228-3), tienen como objetivo regular cualquier posible situación de riesgo profesional siempre desde el punto de vista de la prevención. La ergonomía no solo hace que la vida del trabajador/a sea más feliz en la oficina, sino que también aporta beneficios para la propia empresa al reducir el riesgo de bajas laborales producidas por problemas ergonómicos de los empleados. [34]

5 MARCO METODOLÓGICO

Para desarrollar un correcto diseño, construcción e implementación de un dispositivo semiautomático para el corte de bobinas de plástico (PVC) en la empresa Ariplast, es necesario realizar el primer lugar el levantamiento de la necesidad a través de un análisis in situ del problema para obtener un diseño que satisfaga las necesidades encontradas en el proceso, para posterior a ello proceder a la construcción del dispositivo e implementarlo en la empresa para

realizar las respectivas pruebas de funcionamiento. La metodología utilizada para llevar a cabo las diferentes actividades propuestas es la siguiente. (Figura 19)

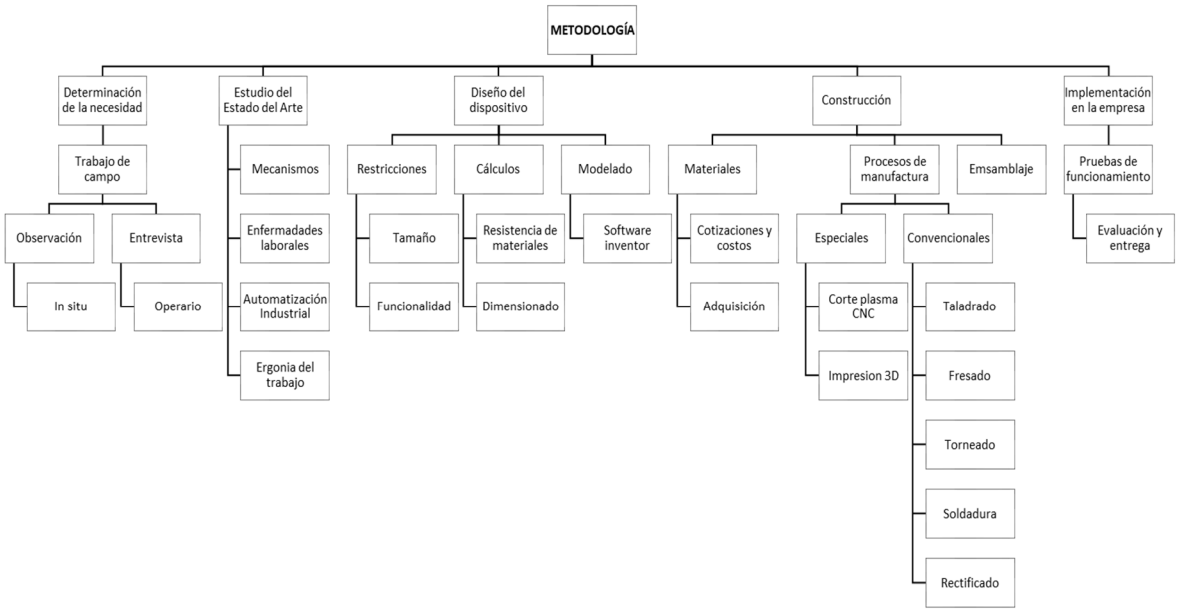


Figura 19. Metodología para el desarrollo de un dispositivo semiautomático para el corte de bobinas de plástico.

En la primera fase del proyecto se realiza la determinación de la necesidad mediante un trabajo de campo dentro de la micro empresa, ejecutando primero una observación de la etapa de corte para analizar la manera en la que ésta se está ejecutando, luego se procederá a realizar una entrevista al operario para conocer los problemas y molestias existentes al realizar esta x que puedan generan malestar y posibles lesiones.

En la segunda fase se realiza un trabajo investigativo, donde se obtendrá información acerca de los mecanismos que nos permitan realizar la automatización del proceso de corte dentro de la micro empresa, también se realiza un estudio del estado del arte sobre mecanismos existentes en el mercado que nos permita determinar las características constructivas de los mismos, además un estudio sobre las lesiones y enfermedades laborales que se pueden generar debido a la obligada mala postura del operario que conlleva esta operación de corte.

En la tercera fase se procede al diseño del dispositivo, para lo cual será necesario realizar los cálculos respectivos de acuerdo a los parámetros de diseño y a las restricciones de tamaño y funcionalidad del mismo, debido a las condiciones de corte y acumulación de material que presenta esta etapa. El modelado del mecanismo se lo realiza mediante el uso del software Inventor y AutoCAD, los mismos que permiten simular el funcionamiento del dispositivo sometido a las condiciones respectivas.

En la cuarta fase se realiza la construcción del dispositivo tomando en cuenta las dimensiones de los materiales que se van a utilizar para poder cotizarlos y posteriormente adquirirlos, teniendo presente que estén disponibles en el mercado local. Luego se establecen los procesos de manufactura convencionales y especiales para poder fabricar las diferentes partes del dispositivo de acuerdo a los planos obtenidos y una vez fabricadas se procede al ensamblaje de las distintas partes y mecanismos para obtener el dispositivo.

En la quinta fase del proyecto se realiza la implementación del dispositivo dentro de la empresa, siendo necesario realizar todas las adecuaciones en el lugar donde se instalará el mismo, posterior a esto se realizan las pruebas de funcionamiento para garantizar que el dispositivo cumpla con las condiciones para el cual fue construido, finalmente se realizará una evaluación del mecanismo para determinar las posibles mejoras y calibraciones del dispositivo para que éste quede funcionando de la manera más óptima.

5.1 Levantamiento de la necesidad

Para determinar si la necesidad requerida por la empresa ARIPLAST genera las condiciones necesarias para implementar dispositivos automatizados se desarrolló un trabajo de campo para levantar información que sea de utilidad.

Para realizar dicho levantamiento de información se visitó la empresa para analizar la manera en la que se están efectuando las etapas de corte y se realizó una encuesta verbal a los operarios para recopilar datos importantes a cerca de la realización de esa operación, considerando en primer lugar si el realizar esta actividad le genera alguna molestia física y, en segundo lugar, se intenta determinar la calidad del producto final debido a los cortes defectuosos que pueden producirse.

Existen dos personas que son las encargadas de realizar este proceso dentro de la empresa, a las cuales se les pregunto si la realización de la operación de corte transversal de las bobinas de manera manual le genera alguna molestia física, a la cual ambos operarios respondieron de manera afirmativa. Comentaron que al final de la jornada laboral aquejan dolor en sus brazos, en la espalda y las piernas por permanecer toda la jornada de pie.

Al consultarles sobre los cortes defectuosos que ejecutan y su influencia en la calidad del producto final nos supieron manifestar que la realización del corte de manera manual tiene su cierto grado de dificultad, además que al no tener un punto fijo de apoyo a veces el corte no sale recto obteniendo cortes con sobre medidas y en ocasiones cortes demasiado pequeños.

Se identifica la cantidad de láminas defectuosas que se obtienen tras este proceso de corte manual, con el cual se determinó que se realizan 160 cortes por bobina y aproximadamente se obtienen de 15 a 20 láminas con defectos de corte y medida. Es decir, tenemos un 12.5% de desperdicio por cada bobina que se procesa.

Posterior a esto se analiza conjuntamente con personal de la empresa el crecimiento de la producción en los últimos años debido a la gran demanda de los productos que se fabrican. (Figura 20).

Figura 20. Curva de crecimiento del nivel de producción.

Luego de haber analizado los puntos anteriores e identificado que el nivel de producción ha crecido considerablemente, que el operario se está viendo afectado en su salud por la realización de esta operación debido al aumento de la producción lo que significa el incremento del tiempo de trabajo y el operario se va a fatigar en exceso, y que los defectos del corte influye en la calidad del producto final y por ende este repercute en costos para la empresa, es necesario la automatización de este proceso de corte mediante el diseño y la construcción de un dispositivo que integre los dos tipos de cortes longitudinal y transversal obteniendo cortes exactos y evitando el desperdicio de materia prima, además de eliminar la mano de obra protegiendo la salud e integridad física del operario y la reducción del tiempo de producción de estas láminas.

5.2 Diseño del dispositivo

Para el diseño del dispositivo semiautomático para el corte de bobinas de plástico se toma en cuenta varios parámetros ya que el dispositivo deberá tener el tamaño adecuado de

acuerdo a las dimensiones estandarizadas de las bobinas de material de plástico (PVC). Para el correcto dimensionado del dispositivo se tienen en cuenta los siguientes aspectos:

- La longitud de las bobinas de plástico, las cuales tienen las siguientes dimensiones. (Figura 21)

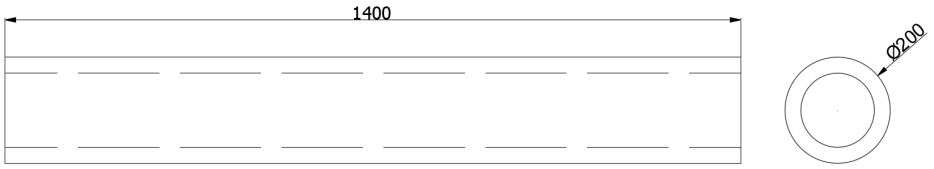


Figura 21. Dimensiones de la bobina de plástico PVC

- Peso de la bobina: 80 Kg
- Las longitudes de las diferentes laminas que se deben obtener de acuerdo a los productos que se fabrican (Figura 22):

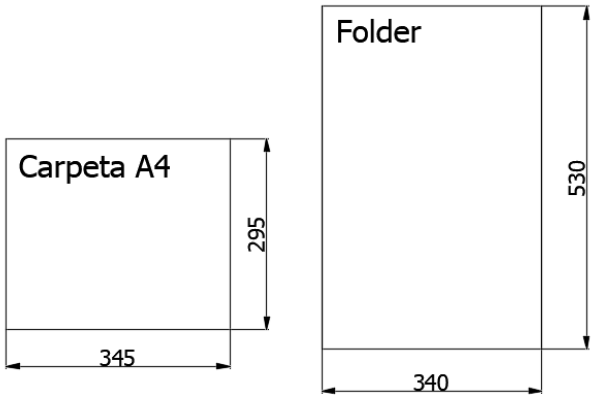


Figura 22. Dimensiones de las láminas para carpetas y folders.

De acuerdo a las dimensiones del producto a obtener se determina que el área de la mesa de trabajo deberá ser mayor a 1400mm que es el ancho estándar de la bobina de plástico por una longitud de 900mm debido a que se obtendrá varias piezas por corte.

Se debe valorar la velocidad con la que va a funcionar teniendo en cuenta la precisión del corte para no tener desperdicios de materia prima. A demás considerar la acumulación de las láminas obtenidas después del corte debido a la necesidad de un correcto apilamiento del material para la fase posterior del proceso productivo.

También la selección de materiales y mecanismos para la construcción del dispositivo semiautomático deberán ser de alta durabilidad, ya que va a estar en constante funcionamiento a causa del aumento de la producción de la empresa. El dispositivo deberá ser ergonómico y

estar considerado para un adecuado y fácil mantenimiento, que la mayoría de sus componentes sean desmontables y fáciles de sustituir.

Teniendo en cuenta todas las restricciones antes mencionadas, con el presente proyecto se consigue mejorar el proceso de corte de láminas de plástico (PVC) mediante la implementación de un dispositivo semiautomático acorde con las tendencias tecnológicas actuales y de esta manera mejorar la calidad del corte, incrementar la producción, evitar el desperdicio de materia prima y además eliminando las posturas inadecuadas que puedan afectar la salud e integridad del operario

La máquina propuesta (Figura 23) que está compuesto de diferentes sistemas como: sistema de sujeción y desbobinado, sistema de frenado de la bobina, sistema de corte longitudinal, sistema de arrastre de la lámina de PVC, sistema de corte transversal y la estructura soporte de todos los sistemas antes mencionados, debe ser capaz de realizar el ciclo completo de corte que consiste en: extender la bobina sobre una mesa de trabajo mediante un sistema móvil de sujeción por mordazas de acuerdo a las dimensiones requeridas, realizar el corte transversal y longitudinal de las láminas con herramientas corto punzantes, la mesa deberá descender luego de cada ciclo de corte para que las diferentes láminas se vayan apilando una encima del otro, todo esto de manera repetitiva hasta terminar todo el contenido del rollo de plástico.

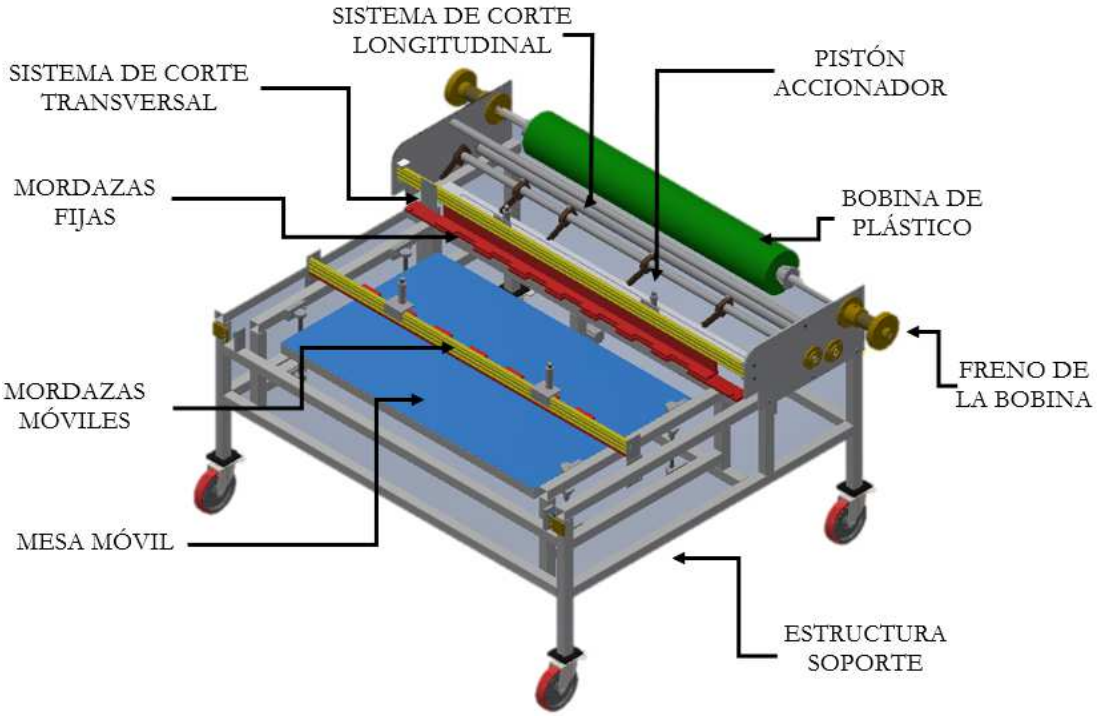


Figura 23. Propuesta de diseño para el dispositivo semiautomático.

A continuación, se desarrolla el diseño de cada uno de los sistemas que forman parte de la máquina semiautomática. Se parte de una idea preliminar, la misma que se irá corrigiendo y mejorando durante este diseño, hasta llegar al diseño definitivo y óptimo.

5.2.1 Tiempos de operación de la máquina

De acuerdo a un historial de la empresa, el operario corta 300 láminas/h de longitud variable dependiendo del producto que se va a fabricar. Para este análisis se toma la longitud de lámina más grande que se requiere cortar que es 630mm.

Para realizar el diseño de la máquina se establece cumplir con una cantidad de 600 láminas/h, para conseguir mayor productividad debido al ahorro de materia prima que se prevé tener.

Se empieza por conocer las variables que intervienen en el tiempo total de corte de láminas.

$$\mathrm{TTC} = \mathrm{TCT_T} + \mathrm{TACC} + \mathrm{TAR_T} \tag{2}$$

Donde:

TTC: Tiempo total de corte

$\mathrm{TCT_T}$: Tiempo de corte Transversal

TACC: Tiempo de Accesorios

$\mathrm{TAR_T}$: Tiempo de arrastre total.

TTC. (Tiempo total de corte.)

Tiempo empleado para el corte de las 600 láminas. (3600 seg)

$\mathrm{TCT_T}$: (Tiempo de corte Transversal.)

Tiempo de corte transversal se calcula con:

$$\mathrm{TCT_T} = (\mathrm{TCT_p} + \mathrm{T_f}) \cdot \mathrm{m} \tag{3}$$

Donde:

$\mathrm{TCT_p}$: Tiempo de Corte Transversal por Ciclo. (Se fija en 2 seg.)

$\mathrm{T_f}$: Tiempo de Fijación de la lámina PVC. (Se fija en 1,5 seg.)

m : Número de cortes a realizarse. (Se tienen 600 cortes)

$$\mathrm{TCT_T} = (2 + 1.5)\ \mathrm{x}\ 600 = 2100\ \mathrm{seg}$$

TACC: Tiempo de Accesorios

Tiempo establecido para la calibración de la máquina, montaje de rollo, alimentación de la lámina a un punto inicial y posicionamiento de cuchillas lo cual se considera 10 min.

TAR_T: Tiempo de arrastre total.

Tiempo destinado al arrastre de las láminas de PVC mediante las mordazas sobre la mesa móvil a la longitud establecida.

$$TTC = TCT_T + TACC + TAR_T \quad (4)$$

$$TAR_T = TCT_T - TACC - TTC$$

$$TAR_T = 3600\ \text{seg} - 2100\ \text{seg} - 600\ \text{seg}$$

$$TAR_T = 900\ \text{seg} = 15\ \text{min.}$$

5.2.2 Diseño del sistema de sujeción y desbobinado

La bobina de PVC se sujeta mediante un eje porta bobina que atraviesa toda su extensión y esta soportado en sus extremos por ejes conectados al disco del sistema de freno de la bobina.

- **Determinación del diámetro óptimo para el eje porta bobina**

Conocido el peso de la bobina de plástico y sus dimensiones, se procede a realizar un análisis estático para el dimensionamiento del eje que va a soportar la carga de dicha bobina (Figura 24).

Para el análisis de considera la situación más crítica, en la cual se abarca todo el peso la bobina de plástico, m= 80 Kg, dando así un peso total P= 784.8 N.

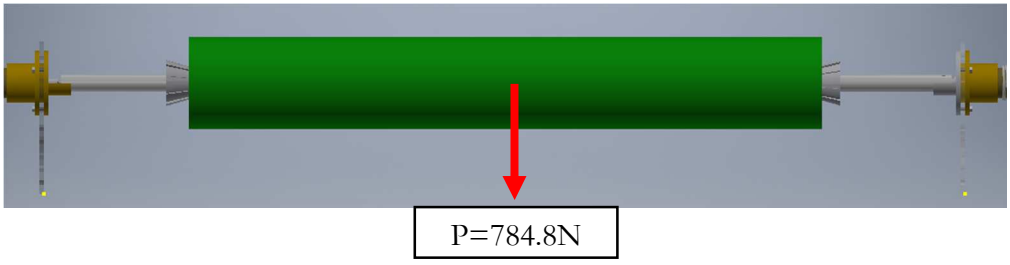


Figura 24. Modelo 3D de la bobina de plástico con los apoyos.

Para realizar un análisis estático se utilizan las siguientes tres relaciones que garantizan que un cuerpo está en equilibrio:

$$+\rightarrow \sum F_X = 0 \quad (5)$$

$$+\uparrow \sum F_Y = 0 \quad (6)$$

$$+\circlearrowleft \sum M = 0 \qquad (7)$$

Para obtener el valor de los esfuerzos σ ya sean de tracción o compresión se utiliza la relación:

$$\sigma = \frac{P}{A} \qquad (8)$$

Donde P representa la carga axial y A el área de la sección transversal.

Para un diseño de elementos mecánicos sobre los cuales va a actuar una fuerza cortante se tiene la siguiente formula:

$$\tau = \frac{F}{A} \qquad (9)$$

Donde F representa la carga que actúa transversal al elemento.

Por otra parte, al diseñar una viga se toma en cuenta el máximo valor absoluto del momento flector $|Mmáx|$ qué ocurrirá sobre el elemento. El esfuerzo normal máximo σ_{max} en el elemento se encuentra en la superficie de la sección crítica donde ocurre el $|Mmáx|$ [35] y se obtiene a partir de la ecuación:

$$\sigma_{max} = \frac{M_{max}}{S} \qquad (10)$$

Donde S es el módulo elástico de la sección el cual sólo depende de la sección transversal y es igual a:

$$S = \frac{I}{c} \qquad (11)$$

I es el momento de inercia de la sección transversal con respecto al eje centroidal perpendicular al plano de par M y c es la distancia máxima desde el centro de masa hasta la superficie superior o inferior del elemento.

Un diseño seguro requiere que $\sigma_{max} \leq \sigma_{perm}$, teniendo en cuenta que el σ_{perm} viene dado por la ecuación:

$$\sigma_{perm} = \frac{\sigma_y}{F.S} \qquad 12)$$

Donde σ_y es el esfuerzo de fluencia del material y F.S. es el factor de seguridad, además de las ecuaciones anteriores se puede despejar el módulo de sección que daría una sección mínima de cualquier perfil con el que se requiera trabajar seguro, la ecuación cumple la siguiente relación:

$$S_{min} = \frac{M_{max}}{\sigma_{perm}} \qquad (13)$$

En el cual S_{min} es el módulo de sección mínima para cualquier perfil que se pueda seleccionar, M_{max} es el momento máximo ejercido y σ_{perm} es el esfuerzo permisible.

Se presentan las ecuaciones del módulo seccional de las figuras comunes existentes en el mercado (Figura 25):

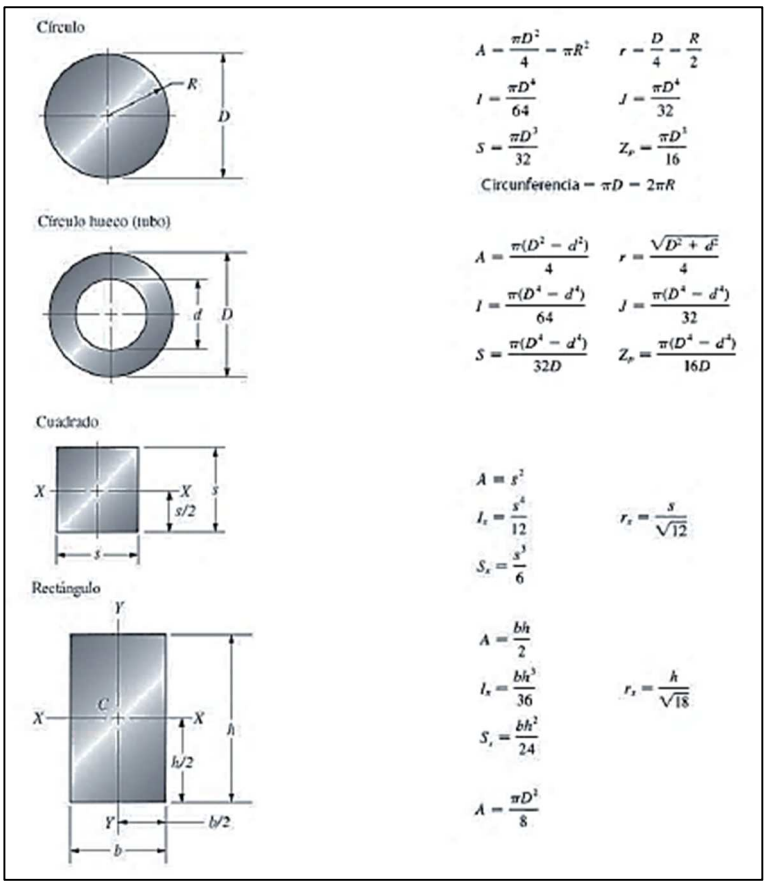


Figura 25. Propiedades de figuras geométricas comunes. [35]

A continuación, se procede al cálculo analítico teniendo en cuenta todas las restricciones en la estructura, se muestra el diagrama de cuerpo libre de las placas y eje que sujetan la bobina de plástico (Figura 26).

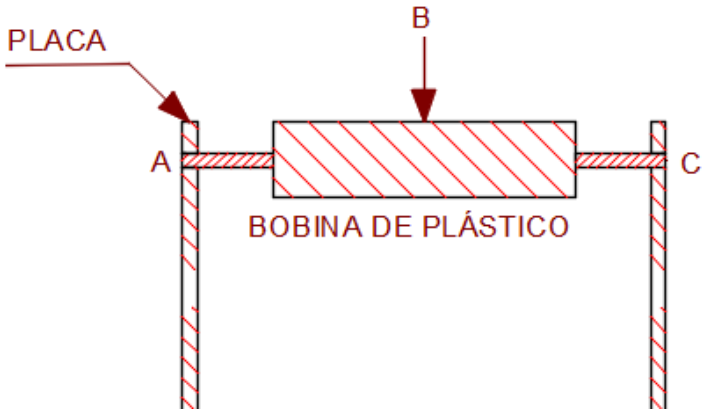


Figura 26. Diagrama de cuerpo libre de la estructura para el soporte de la bobina de plástico.

Se procede a realizar un análisis estático para obtener el valor de las cargas que actúan a lo largo de toda la estructura de la bobina además para obtener el valor del momento máximo, se calcula el cortante y momento flector (Figura 27):

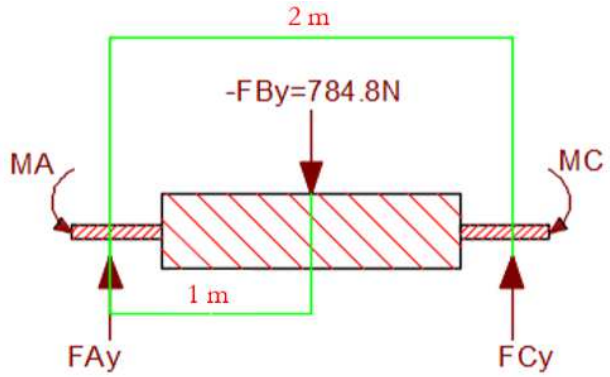


Figura 27. Diagrama de cuerpo libre de la bobina de plástico.

Tramo de 0 a 1 m (Figura 28)

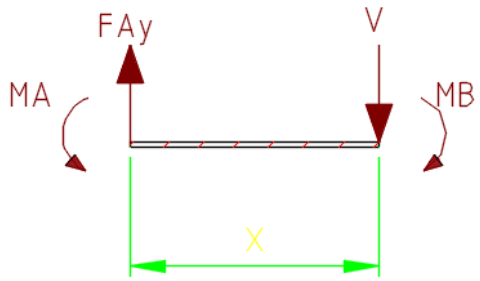


Figura 28. Diagrama de cuerpo libre del tramo A-B

$$+\uparrow \sum F_Y = 0$$

$$FA_y - V_1 = 0$$

$$\boldsymbol{V_1 = 392.4N}$$

$$M_1 = \int V_1 . dx$$

$$M_1 = \int_0^x 392.4 . dx$$

$$\boldsymbol{M_1 = 392.4x}$$

Tramo de 0 a 2 m (Figura 29)

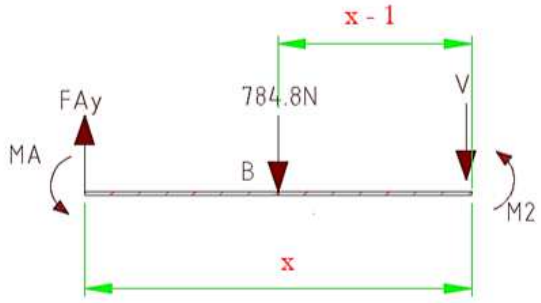


Figura 29. Diagrama de cuerpo libre del tramo A-C

$$+\uparrow \sum F_Y = 0$$

$$FA_y - FB_y - V_2 = 0$$

$$392.4N - 784.8N - V_2 = 0$$

$$\boldsymbol{V_2 = -392.4N}$$

$$+\circlearrowleft \sum M = 0$$

$$M + 784.8(\mathrm{x} - 1) - 392.4(\mathrm{x}) = 0$$

$$\boldsymbol{M_2 = (392.4x - 784.8)\ Nm}$$

Posteriormente para obtener los valores máximos del cortante y del momento flector en el eje se realiza los diagramas de fuerza cortante y momento flector (figura 30).

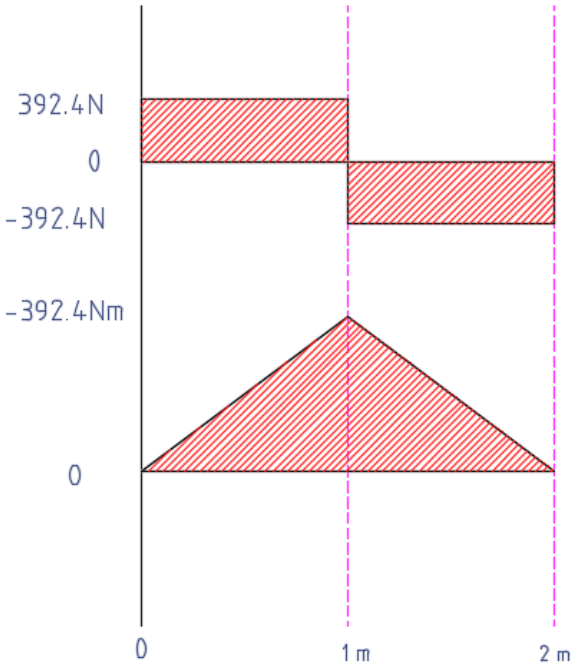


Figura 30. Diagrama del cortante y momento flector de la bobina de plástico.

Al observar la figura 30 el momento máximo se produce cuando la carga es de 392.4N en el centro del eje que está a 1 m, por lo tanto, reemplazando este valor en la ecuación del momento 2 tenemos:

$$M_2 = (\mathbf{392.4x - 784.8})Nm$$

$$\boldsymbol{M_{max} = -392.4\ Nm}$$

Para obtener el esfuerzo permisible del eje se aplica la ecuación 8 donde σ_y representa el esfuerzo de fluencia del acero estructural St-36. (Anexo 1) [36] Este material se ha seleccionado debido a su resistencia a la fricción y además por su existencia en varios distribuidores en el medio, F.S. representa el factor de seguridad.

El factor de seguridad usado en este caso es 3 para garantizar el correcto desarrollo de todos los elementos, ya que es el recomendado para el diseño de estructuras estáticas o elementos de máquinas bajo cargas dinámicas con incertidumbre.

$$\boldsymbol{\sigma_{perm} = 83.33\ MPa}$$

Reemplazando estos valores en la ecuación 13 se obtiene el mínimo valor del módulo seccional:

$$S_{min} = \frac{392.4\ Nm}{83.33\text{MPa}}$$

$$\boldsymbol{S_{min} = 4.71\ E^{-6}m^3}$$

Con este valor encontrado se recurre a un catálogo de ejes disponibles en la red (Anexo 2) [37] que normalmente se encuentra en el mercado y aplicando las fórmulas que facilita la tabla de la figura 25 se calcula el módulo de sección de un eje. Se muestra las dimensiones a tomar en cuenta para calcular el momento de inercia y el módulo seccional circular (Figura 31):

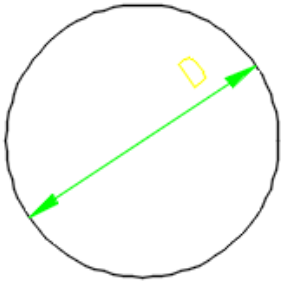


Figura 31. Sección circular del eje.

$$S = \frac{\pi D^3}{32} \tag{14}$$

Se procede a despejar D para obtener el valor mínimo del diámetro del eje óptimo para soportar las bobinas.

$$D = \sqrt[3]{\frac{S\ x\ 32}{\pi}} \tag{15}$$

Para el módulo de sección determinado anteriormente tenemos que:

$$\boldsymbol{D = 36.3\ mm}$$

Por lo tanto, según el valor obtenido se selecciona un eje de diámetro 38.1 mm existente en el mercado; dicho eje es el adecuado ya que se está sobredimensionando para tener mayor seguridad al momento de la construcción.

- **Diseño del sistema de frenado de la bobina**

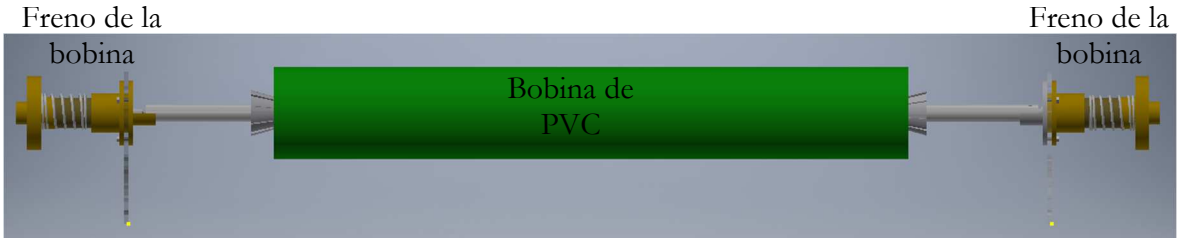


Figura 32. Sistema de frenado de la bobina de PVC

Al momento que las mordazas extienden la bobina sobre la mesa la inercia misma de la bobina hace que esta siga girando y se desenrolle más de lo necesario lo que representa un problema al momento de realizar el corte ya que el material no se encuentra totalmente extendido sobre la mesa para lo cual se diseña un sistema de freno mediante discos afelpados a los lados que elimina dicha inercia (Figura 32).

Las dimensiones de los componentes del sistema de freno se definen a partir de las medidas del núcleo de la bobina de PVC.

Para controlar el giro de la bobina se dispone de un freno de disco de zapata circular el mismo que se acopla al eje porta bobina. Se dispone de una zapata circular de felpa unida a un disco fijo y mediante un resorte de compresión se provoca una fuerza de accionamiento en dicha zapata sobre el tambor giratorio. La compresión del resorte se efectúa a través de un tornillo regulador (Figura 33).

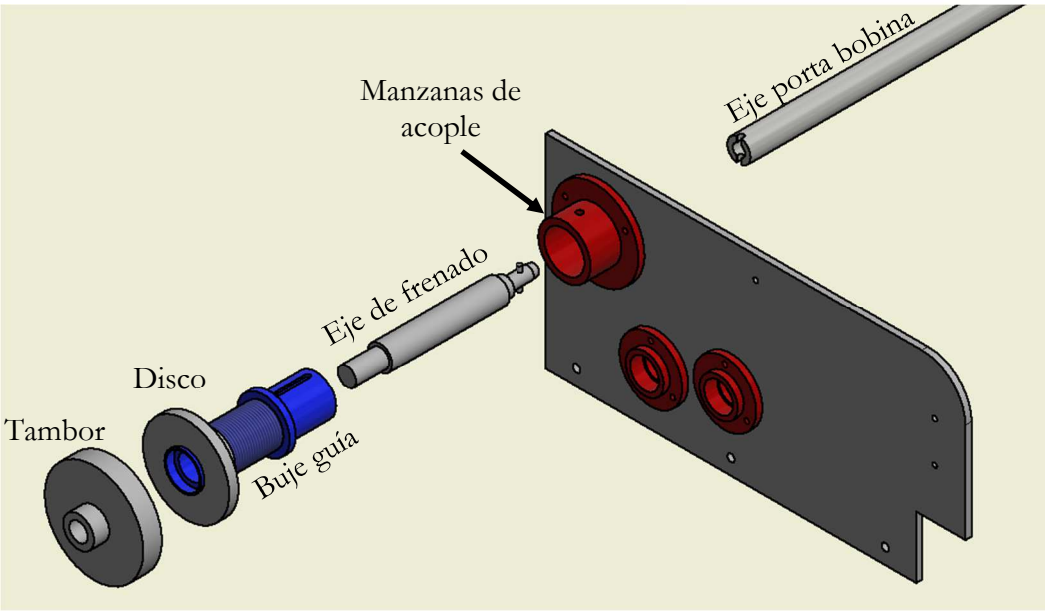


Figura 33. Sistema de frenado de la bobina

- **Dimensionamiento y modelado de los componentes del sistema de frenado.**

Las dimensiones de los componentes del sistema de freno se definen a partir de las medidas del núcleo de la bobina de PVC.

Los planos mecánicos de los componentes del dispositivo se realizan a partir del modelo 3D creado en Inventor, de esta manera se obtienen dichos planos en forma fácil, rápida y precisa. Todos los planos constructivos de la máquina se especifican en el Anexo 5.

- **Manzanas de acople**

Las manzanas de acople soportan el peso de todos los componentes del sistema de frenado y las reacciones de las fuerzas que cada componente genera, por lo tanto, para facilitar el montaje del sistema se hace necesario el uso de dichas manzanas con la geometría mostrada. (Figura 34)

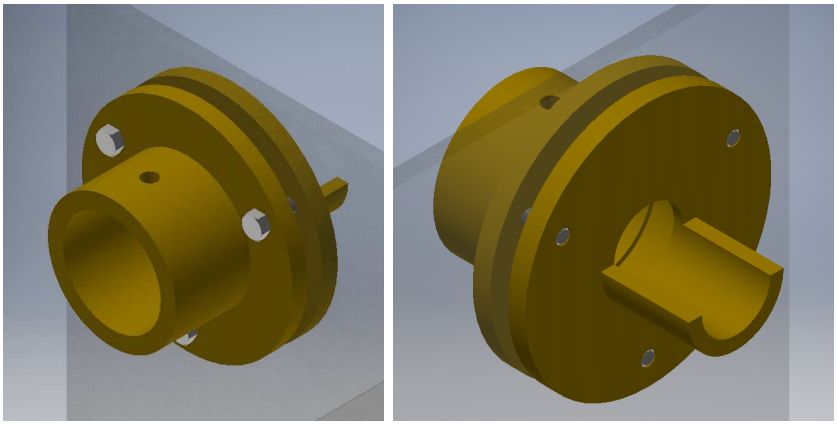


Figura 34. Manzanas de acople exterior e interior.

- **Eje de frenado**

Este eje se monta sobre un par de rodamientos posicionados en las zonas A y B, para transmitir el giro del eje porta bobina al tambor del sistema de freno y por consecuencia lograr el frenado. La geometría de este eje se presenta (Figura 35).

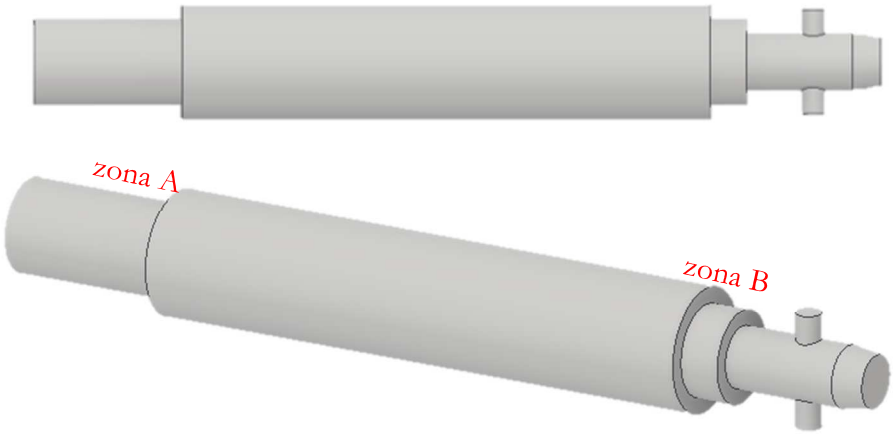


Figura 35. Eje de frenado.

La transmisión del giro del eje porta bobina al eje de frenado se hace mediante un pin que se engrana a un destaje hecho en los extremos del eje porta bobina (Figura 36).

Figura 36. Sistema de transmisión de giro.

- **Selección de rodamientos**

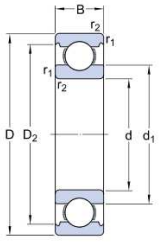
En diseño mecánico hacer un cálculo de rodamientos resulta factible para realizar una correcta selección del rodamiento dependiendo de la aplicación para el cual se requiera, pero en realidad estos cálculos son realizados cuando el rodamiento debe girar a grandes velocidades y no se conoce su diámetro interior, en ello se define el tamaño, el diámetro exterior, si son sellados o no, el tiempo de vida útil entre otros. Para nuestro caso el rodamiento va girar a velocidades muy bajas.

Según lo antes mencionado y conociendo que el diámetro interno del rodamiento debe ser d=30mm, para esta aplicación se elige el rodamiento rígido de bolas 6006 que tienes las siguientes dimensiones (Figura 37):

▶6006

Producto popular
SKF Explorer

Dimensiones



d		30	mm
D		55	mm
B		13	mm
d_1	≈	38.2	mm
D_2	≈	49	mm
$r_{1,2}$	min.	1	mm

Figura 37. Dimensiones del rodamiento SKF 6006. [38]

El uso de este rodamiento se da ya que no existen cargas axiales actuando sobre este eje, solo cargas radiales y los rodamientos rígidos de una hilera de bolas son óptimos para este tipo de aplicaciones.

- **Buje guía**

Para alojar los rodamientos del eje de frenado se precisa de un buje guía. Adicionalmente en la parte exterior del buje existe una rosca la misma que junto a una tuerca son las que proporcionan la tensión necesaria al resorte para lograr el frenado. Las dimensiones del buje se establecen a partir de las especificaciones técnicas de los rodamientos utilizados (Figura 38).

Figura 38. Buje guía.

- **Tuerca de empuje**

Sobre la rosca del buje guía actúa una tuerca que es la encargada de comprimir el resorte hasta conseguir la tensión necesaria para lograr el frenado (Figura 39).

Figura 39. Tuerca de empuje.

- **Disco de freno**

Para la fabricación de este disco se asigna como material la fundición gris, debido a su buena resistencia al desgaste, bajo costo y buena maquinabilidad. [39]

Debido a las dimensiones del rodamiento y del buje guía donde se alojan los rodamientos el disco de freno toma la geometría indicada. (Figura 40)

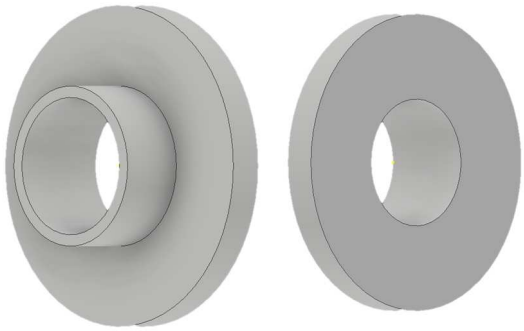


Figura 40. Disco de freno.

- **Tambor de frenado**

Para la fabricación del tambor se asigna como material la fundición gris ya que estará en constante fricción con el disco de freno. Presenta la geometría siguiente (Figura 41).

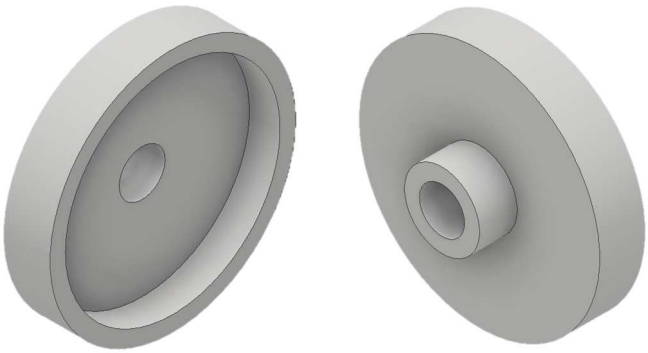


Figura 41. Tambor de frenado

- **Diseño del resorte**

La fuerza total de accionamiento de las zapatas circulares se ejerce sobre el tambor giratorio del mecanismo mediante un resorte comprimido por una tuerca, con la finalidad de controlar el giro de la bobina durante el desbobinado del plástico (Figura 42).

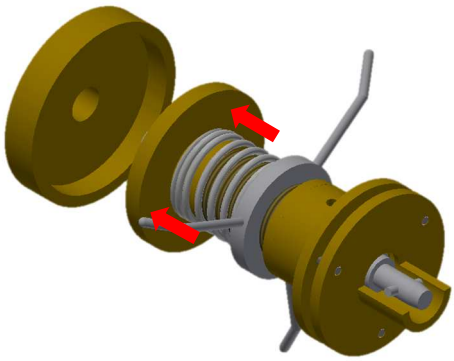


Figura 42. Accionamiento del disco sobre el tambor mediante resorte.

Para el correcto funcionamiento del sistema de frenado de disco actuado por resorte necesitamos determinar la fuerza que debe ejercer dicho resorte para lograr eliminar la inercia.

La fuerza con la que las mordazas van a extender el material es de $F_{rot} = 2N$ obtenidos de forma experimental.

Para este análisis se considera que el coeficiente de rozamiento de la felpa es $\mu_E = 0.4$ y las dimesiones de los discos de freno $D = 140\ mm = 0.14\ m$ y $d = 60\ mm = 0.06\ m$ (Figura 43)

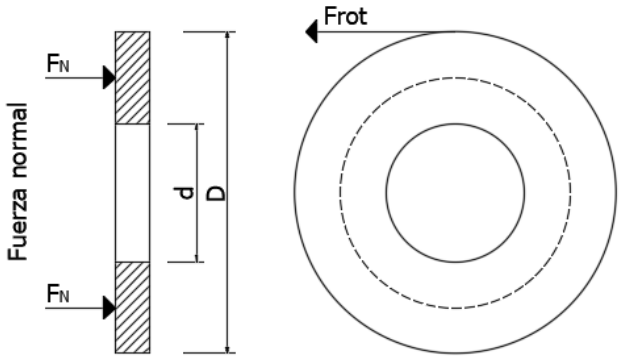


Figura 43. Fuerza de rotación y fuerza normal

Calculamos la fuerza con la que gira la bobina de PVC (F_{rot})

$$F_{rot} = F_N \, x \, \mu_E \tag{16}$$

$$F_N = \frac{F_{rot}}{\mu_E}$$

$$\boldsymbol{F_N = 5\ N}\ (Fuerza\ minima\ que\ debe\ ejercer\ el\ resorte)$$

También calculamos el momento de giro del freno (M_F)

$$M_F = F_{rot}\ x\ r_m \tag{17}$$

Donde:
F_{rot}= Fuerza de rotación
r_m= radio medio del disco y tambor; $r_m = \frac{D+d}{4}$

$$\boldsymbol{M_F = 0.1\ N\ x\ m}$$

El momento de giro del freno tiene que ser igual o mayor al momento de giro de la bobina de plástico para lograr eliminar la inercia que se produce.

Se determina el momento de la bobina ($\boldsymbol{M_B}$), cuando las mordazas extienden el material. Para este análisis se considera que la fuerza de rotación seria la misma $F_{rot} = 2N$ y el radio de la bobina que es $r_b = 100\ mm$.

$$M_B = F_{rot}\ x\ r_b \tag{18}$$
$$M_B = 0.2\ Nm$$

Debido a las dimensiones del disco y el tambor del freno, para lograr que los momentos sean iguales y conseguir eliminar la inercia de la bobina, la fuerza normal que el resorte va a ejercer debe ser mayor. Para lo cual consideramos que:

$$M_F = M_B = F_{rot}\ x\ r_m \tag{19}$$

Donde:

$F_{rot} = F_N\ x\ \mu_E$

$r_m = \frac{D + d}{4}$

$$M_B = F_N\ x\ \mu_E\ x\ \frac{D+d}{4} \tag{20}$$

Despejamos la fuerza normal y obtenemos:

$$\boldsymbol{F_N = 10\ N}$$

Esta sería la fuerza que debería ejercer el resorte para lograr que los momentos de la bobina y del freno sean iguales.

Una vez obtenida la fuerza que el resorte debe ejercer $F = 10\ N\ (Carga\ de\ trabajo)$ procedemos a diseñar el mismo partiendo de las siguientes condiciones: por requerimientos de espacio se precisa que su longitud libre sea $Lo = 70\ mm$, y se instala sobre una varilla de diámetro $d_{varilla} = 65\ mm$, con una $holgura = 2\ mm$, , $F_i =$

$0.5\ N(Fuerza\ de\ instalación),\ c = 10mm$. Se emplea un acero ASTM A 228 para su fabricación.

Se calcula la deformación en la instalación (y_i)

$$y_i = \frac{c}{\frac{F}{F_i}-1}\ [40] \tag{21}$$

$$\boldsymbol{y_i = 0.53\ mm}$$

Constante de resorte (k)

$$k = \frac{F_i}{y_i}\ [40] \tag{22}$$

$$\boldsymbol{k = 0.95\frac{N}{mm}}$$

Deformación en la operación (y)

$$y = \frac{F}{k}\ [40] \tag{23}$$

$$\boldsymbol{y = 10.53\ mm}$$

El intervalo preferido del índice del resorte es $4 \leq C \leq 12$, donde los índices más bajos son más difíciles de formar (debido al peligro de agrietamiento de la superficie), mientras que los resortes con índices mayores tienden a enredarse con suficiente frecuencia como para requerir empaque individual, lo cual puede ser el primer punto de la evaluación del diseño. [40]

Además de las relaciones y propiedades del material para resorte, se pueden recomendar algunas condiciones de diseño, a saber:

$$4 \leq C \leq 12$$
$$3 \leq N_a \leq 15$$
$$\xi \geq 0.15$$
$$n_s \geq 1.2$$

Donde:
n_s es el factor de seguridad al cierre (altura sólida).

Asumimos que el índice del resorte $C \approx 12$ para obtener un diseño optimo y por su facilidad de construcción.

$$C = \frac{D}{d} \approx 12$$

Donde

$$D = d_{varilla} + d + holgura$$
$$D = 65 + d + 2 = 67 + d$$

Despejamos d para obtener el diámetro del alambre:

$$\boldsymbol{d = 6.09}$$

Realizado este cálculo obtenemos el diámetro del alambre para fabricar el resorte que nos dará la tensión necesaria para lograr el frenado. Por disponibilidad en el mercado el resorte se fabrica con un alambre de diámetro 7mm.

Por último, procedemos a calcular el número de vueltas que debe tener el resorte.

Longitud inicial (Lo)

$$Lo = Ls + (1 + \xi)\gamma \quad (24)$$

$$Ls = Lo - (1 + \xi)\gamma$$

$$Ls = 70mm - (1 + 0.15)\ 10.53\ mm$$

$$\boldsymbol{Ls = 57.89\ \text{mm}}$$

Longitud sólida (Ls)

$$Ls = (Na + Q')\ d \text{ [40]} \quad (25)$$

Donde:

Na= Numero de esperas activas.

Q'= 3;

$$Na = \frac{Ls}{d} - Q' \quad (26)$$

$$Na = \frac{57.89}{7} - 3$$

$$\boldsymbol{Na = 5.27\ espiras}$$

Según indica la tabla para calcular las dimensiones de resortes a compresión (anexo 3) para obtener las espiras totales dependiendo del tipo de extremos del resorte tenemos que para nuestro caso ambos extremos a escuadra y esmerilados el número de espiras totales será:

$$N_t = N_a + 2 \quad (27)$$

Entonces, nuestro resorte tendrá 7 espiras totales.

Mediante los cálculos realizados anteriormente determinamos las características constructivas del resorte para que el disco ejerza la fuerza necesaria sobre el tambor y poder lograr el frenado de la bobina de PVC.

Se muestra el modelado del resorte mediante software Inventor con las siguientes características (Figura 44):

$Lo = 70mm$

$D_{externo} = 74mm$

$D_{interno} = 67mm$

$D_{alambre} = 7mm$

$espiras\ activas = 5$

$espiras\ totales = 7$

Figura 44. Resorte de compresión

5.2.3 Diseño del rodillo de guiado

Con el objetivo de alinear el material hasta el sistema de arrastre y evitar que la lámina de PVC se arrugue durante su recorrido se emplea un rodillo guía. Este rodillo gira sobre su propio eje mediante rodamientos ubicados en los extremos y se instala en las placas laterales mediante manzanas de acople en las cuales se alojan los rodamientos (Figura 45).

El rodillo con el propósito de reducir peso está fabricado en tubo de acero de 50 mm de diámetro y 1.5mm de espesor de pared. En los extremos para poder posicionar los rodamientos se hizo un injerto de eje de la misma medida y se torneó a las medidas requeridas.

El modelado del sistema de guiado por rodillo mediante software Inventor se ilustra a continuación:

Figura 45. Sistema de Rodillo de guiado

➢ **Selección de los rodamientos**

Para este caso debido a la longitud del rodillo guía se opta por utilizar rodamientos de doble hilera de bolas de contacto angular. Esto para que el rodillo se alinee de manera correcta y por la presencia de cargar radiales y axiales considerables.

Conociendo el diámetro interior del rodamiento se escoge el rodamiento SKF 3204 ATN9 (figura 46), con el objetivo de lograr que el giro del rodillo sea suave y preciso, y evitar que el material presente deformaciones al momento de ser extendido.

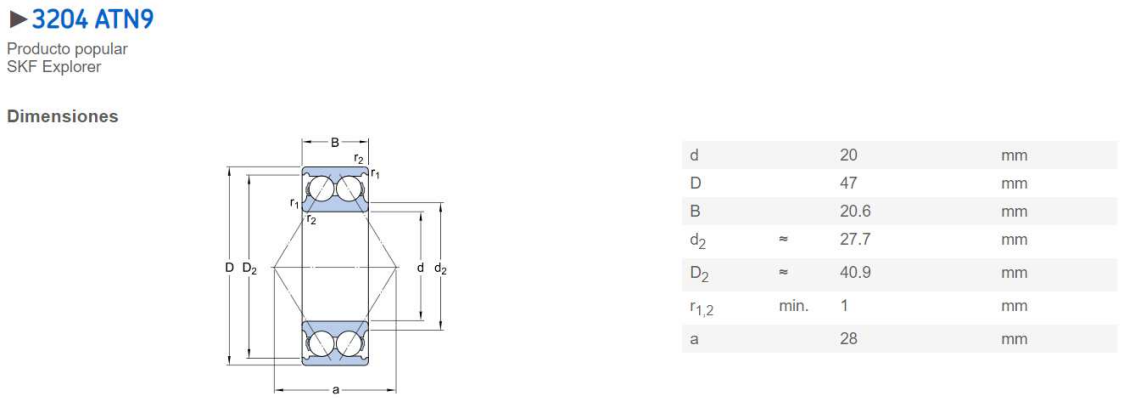


Figura 46. Dimensiones del rodamiento SKF 3204 ATN9. [41] [17]

- Manzanas de acople

Las manzanas de acople facilitan el montaje del rodillo guía y lo fijan al dispositivo.

Dentro de estas se alojan los rodamientos, mismos que establecen la geometría y las dimensiones de dichas manzanas (Figura 47).

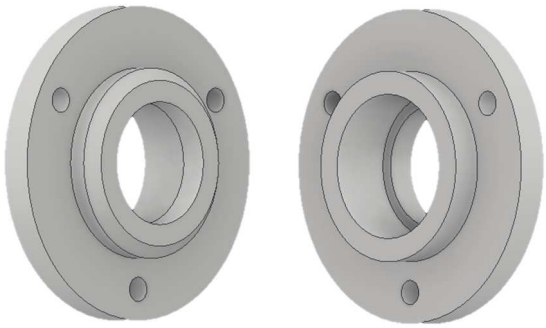


Figura 47. Manzana de acople del rodillo guía.

5.2.4 Diseño del sistema de corte longitudinal

El sistema de corte longitudinal está compuesto de un eje sobre el cual se deslizan 4 porta cuchillas los mismos que pueden posicionarse a largo del eje para dar la medida de corte requerida de acuerdo al producto que se vaya a fabricar (Figura 48).

Este rodillo gira sobre su propio eje mediante rodamientos ubicados en los extremos y se instala en las placas laterales mediante manzanas de acople en las cuales se alojan los rodamientos.

A continuación, se presenta el modelado de este sistema en el software Inventor:

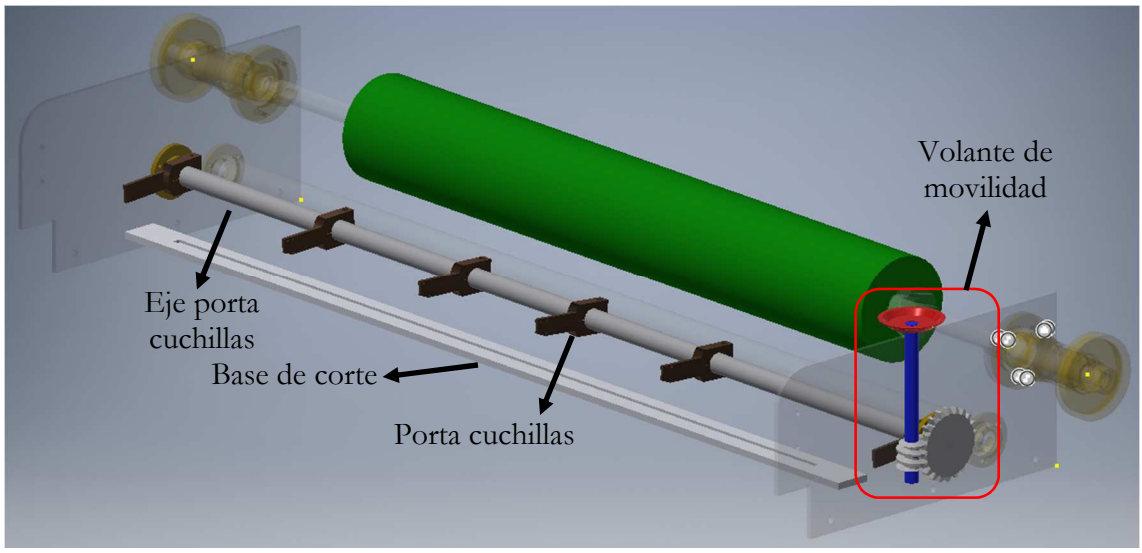


Figura 48. Sistema de corte longitudinal

- **Eje porta cuchillas**

Para el diseño de este eje se desprecia la fuerza que las cuchillas deben ejercer sobre el material para lograr cortarlo debido a que es mínima. Debido a la longitud del eje y por estética se selecciona un eje de 38.1 mm de diámetro disponible en el mercado. En los extremos se mecaniza a la medida requerida para instalar los rodamientos (Figura 49).

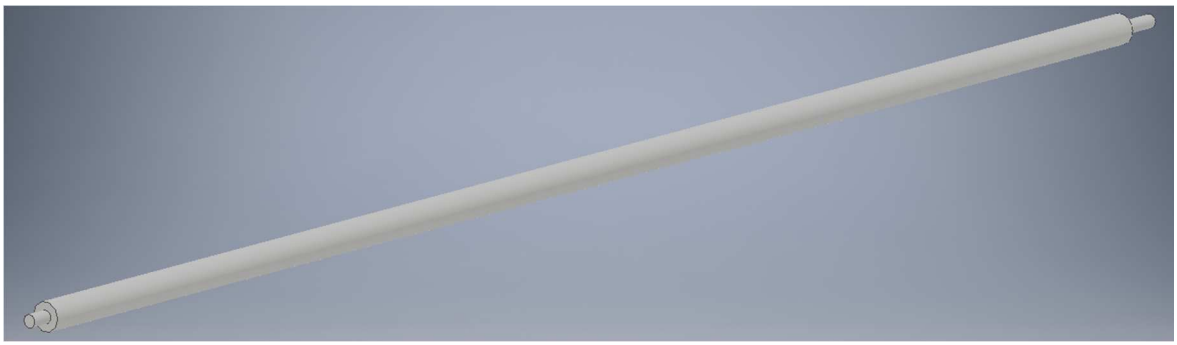


Figura 49. Eje porta cuchillas

- **Selección de rodamientos.**

Para este caso debido a la longitud del eje porta bobina se opta por utilizar rodamientos de doble hilera de bolas de contacto angular. Esto para que el rodillo se alinee de manera correcta y por la presencia de cargar radiales y axiales.

Conociendo el diámetro interior del rodamiento se escoge el rodamiento SKF 3204 ATN9 (figura 46).

- **Porta cuchillas**

La geometría y dimensiones de los porta cuchillas está diseñada para que puedan sujetar cuchillas planas Stanley. Se selecciona esta marca de cuchillas debido a la facilidad de adquisición en el mercado local y además por su alta calidad (Figura 50).

Debido a que estos se deslizan sobre un eje de acero para ubicarlos dependiendo de las medidas requeridas, se les asigna como material para su construcción la fundición de bronce para evitar el desgaste excesivo.

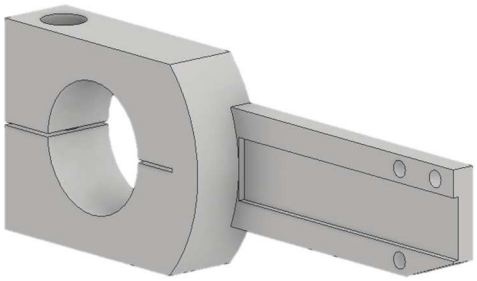


Figura 50. Porta cuchillas

Para fijar los porta cuchillas al eje se lo hace mediante un perno que cumple la función de ajuste y le mantiene fijo (Figura 51).

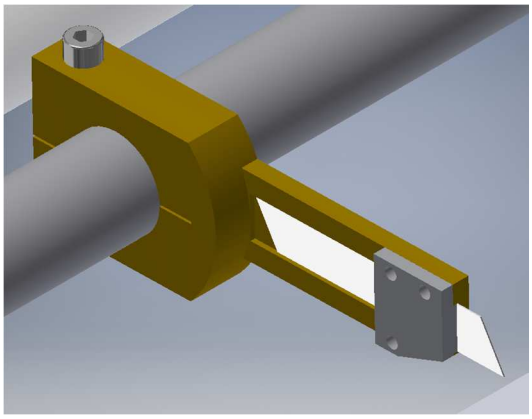


Figura 51. Fijación de los porta cuchilla al eje.

- **Manzana de acople**

Las manzanas de acople facilitan el montaje del eje porta cuchillas y lo fijan al dispositivo. Dentro de estas se alojan los rodamientos, mismos que establecen la geometría y las dimensiones de dichas manzanas (Figura 52).

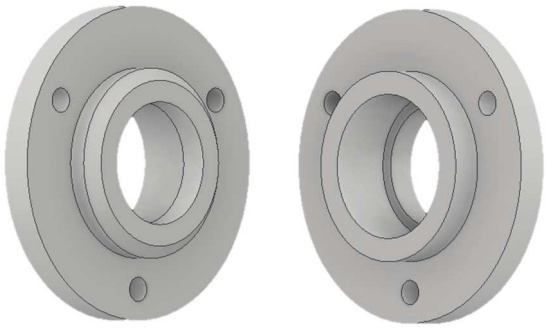


Figura 52. Manzana de acople del eje porta cuchillas.

El eje porta cuchillas está conectado a un sinfín-corona controlado por un volante, para dar movilidad a las cuchillas debido a la necesidad de variar su ángulo para realizar el cambio de bobina o para mantenerlas levantadas cuando no se requiera el uso de este sistema.

- **Volante de movilidad**

Para variar el ángulo de los porta cuchillas se instala en uno de los extremos un sistema sinfín-corona. El sinfín conectado a un volante y la corona conectada al eje porta cuchillas para lograr transmitir el movimiento del volante al eje perpendicular a este.

Al girar el volante en sentido horario o anti horario, el eje porta cuchilla varia su ángulo de posición respecto a la mesa (Figura 53).

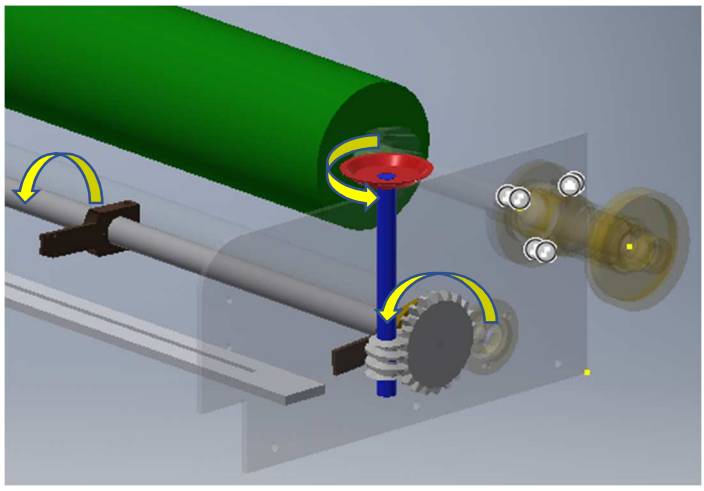


Figura 53. Sistema sinfín-corona.

* Calculo del sinfín-corona

Nos ponemos como condiciones iniciales que la relación de transmisión (i) debe ser de 10 para lograr un giro suave y preciso del eje porta cuchilla. También definimos que el tornillo sinfín va tener 6 entradas de rosca.

$$i = \frac{n_2}{n_1} \tag{28}$$

Donde:

$n_1 = N° \ de \ entradas \ del \ tornillo$

$n_2 = N° \ de \ dientes \ de \ la \ corona$

Por lo tanto:

$$n_2 = i \ x \ n_1 \tag{29}$$

$$n_2 = 60$$

Determinamos que el número de dientes de la corona debe ser 60 para obtener la relación de transmisión deseada.

- Características constructivas del sinfín-corona

Módulo [M] = 1.5

N° de dientes de la corona [N] = 60

N° de entradas del tornillo [n] = 6

*** Cálculos para el tornillo sinfín:** [42]

Paso [P]

$$P = \pi \ x \ M = \mathbf{4.71mm} \tag{30}$$

Altura del diente [h]

$$h = 2.167 \ x \ M = \mathbf{3.25mm} \tag{31}$$

Diámetro primitivo [dp]

$$dp = (8 - 12) \ x \ M = \mathbf{15mm} \tag{32}$$

Diámetro exterior [de]

$$de = dp + 2M = \mathbf{18mm} \tag{33}$$

Diámetro interior [d]

$$d = de - 2h = \mathbf{11.5mm} \tag{34}$$

Ángulo del filete [Alfa α]

$$\alpha = tg^{-1}\left(\frac{M\ x\ n}{dp}\right) = \mathbf{30.96°} \tag{35}$$

Espesor del filete [e]

$$e = \frac{P}{2} = \mathbf{2.36mm} \tag{36}$$

Espacio entre filetes [c]

$$c = \frac{P}{2} = \mathbf{2.36mm} \tag{37}$$

Altura de la cabeza del filete [L]

$$L = M = \mathbf{1.5mm} \tag{38}$$

Altura del pie del diente [l]

$$l = 1.167\ x\ M = \mathbf{1.75mm} \tag{39}$$

Angulo Beta [β]

$$\boldsymbol{\beta = 14° 30´ = filete\ normal} \tag{40}$$

$$\beta = 20° = reforzado$$

$$\beta = 30° = pasos\ largos$$

Ancho del fondo del filete [T]

$$T = \left[\frac{P\ x\ Cot(\beta)}{4} - 1\right]\left(2\ x\ tg(\beta)\right) = \mathbf{1.85mm} \tag{41}$$

Longitud de la parte roscada [LR]

$$LR = P\left(4.5 + \frac{N}{50}\right) = \mathbf{26.84mm} \tag{42}$$

Extremos sin rosca [F]

$$F = P = \mathbf{4.71mm} \tag{43}$$

Radio de la cabeza [r]

$$r = 0.05P = \mathbf{0.24mm}$$

*** Cálculos para el tornillo sinfín:** [42]

Diámetro primitivo [DP]

$$DP = M(N) = \mathbf{90}\boldsymbol{mm}$$

Diámetro exterior [DE]

$$DE = DP + 2M = \mathbf{93}\boldsymbol{mm} \quad (44)$$

Paso [P]

$$P = \pi \cdot M = \mathbf{4.71}\boldsymbol{mm} \quad (45)$$

Altura del diente [H]

$$H = 2.167M = \mathbf{3.25}\boldsymbol{mm}$$

Diámetro mayor y sobre aristas [D1]

$D1 = DE + 0.4775P = \mathbf{95.25}\mathbf{mm}$, para tornillo sinfín de filete simple y doble

$D1 = DE + 0.8138P$, para tornillo sinfín de filete triple y cuádruple

Ancho de la rueda [A]

$A = 6 + 2.38P = \mathbf{17.21}\boldsymbol{mm}$, para tornillo sinfín de filete simple y doble

$A = 5 + 2.15P$, para tornillo sinfín de filete triple y cuádruple

Concavidad periférica [R]

$$R = 0.5Dp - M = \mathbf{43.5}\boldsymbol{mm} \quad (46)$$

Radio de la cabeza [r]

$$r = 0.25P = \mathbf{1.18}\boldsymbol{mm} \quad (47)$$

Distancia entre centros [E]

$$E = \left(\frac{Dp+dp}{2}\right) = \mathbf{52.5}\boldsymbol{mm} \quad (48)$$

* Modelado del sinfín-corona mediante software Inventor. (Figura 54)

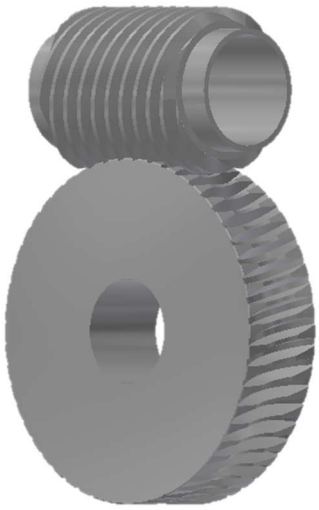


Figura 54. Modelado del sinfín-corona.

5.2.5 Diseño del sistema de corte transversal.

Para la ejecución del corte transversal de la lámina de PVC se contará con dos cuchillas, una de tipo circular y otra rectangular fabricadas en acero BOHLER K110 (Figura 55)

El acero BOHLER K110, [45] utilizado para la elaboración de cuchillas para corte de madera, metal, plástico, papel y cartón. De acuerdo a la aplicación de la máquina, el fabricante de la cuchilla recomienda que la misma tenga un ángulo de corte de 60° y un ángulo de filo 20°.

Figura 55. Disposición de Cuchillas.

Las partes que contiene el sistema de corte transversal son: (Figura 56)

- El porta cuchillas
- Perfil guía
- Pisa Plancha

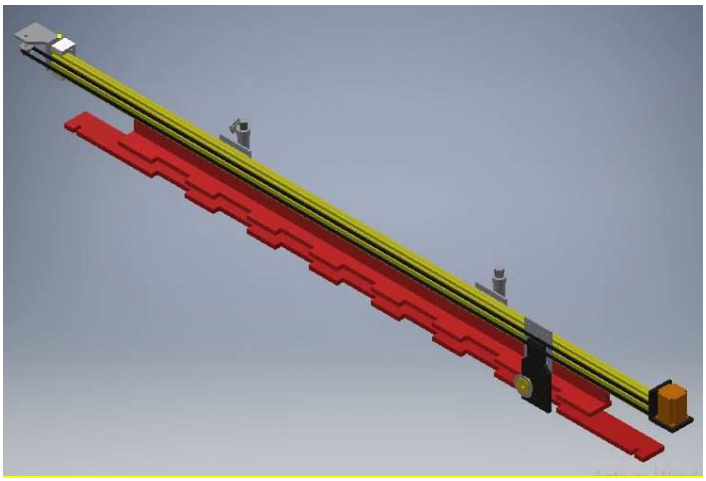


Figura 56. Sistema de corte transversal.

- **Componentes del sistema de corte**

  - **Porta cuchilla**

El porta cuchilla está diseñado para el acople de 2 cuchillas, circular y plana que tendrá un corte estilo tijera (Figura 57). Para la fijación de la cuchilla circular se diseña un acople, en cuyo interior se alojan rodamientos 619/6 (Figura 58) que al momento de ejecutar el corte en las láminas permite que la cuchilla gire libremente para conseguir un corte suave y preciso.

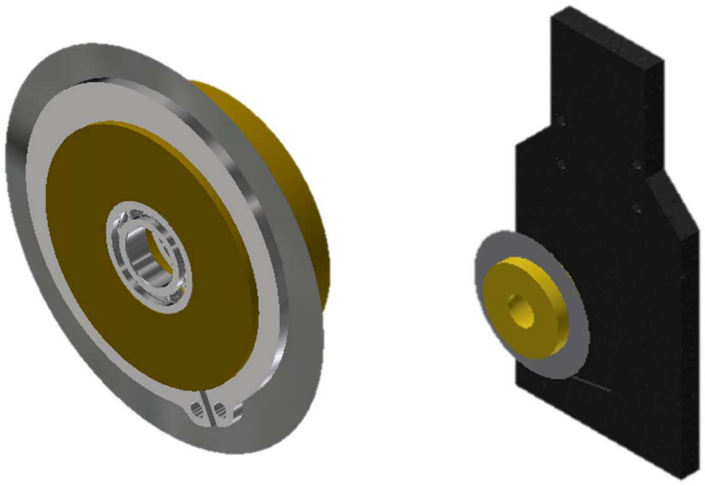
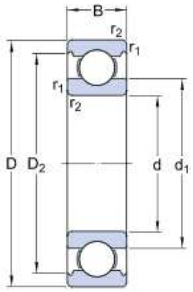


Figura 57. Porta cuchillas.

619/6

Dimensiones



d		6	mm
D		15	mm
B		5	mm
d_1	≈	8.2	mm
D_2	≈	13	mm
$r_{1,2}$	min.	0.2	mm

Figura 58. Especificación de rodamientos.

- **Guía lineal**

La guía lineal es la encargada de dirigir el desplazamiento del porta cuchilla, de manera que garantice un corte completamente rectilíneo de la lámina de PVC. Se puede visualizar el ensamble de la guía lineal (Figura 59).

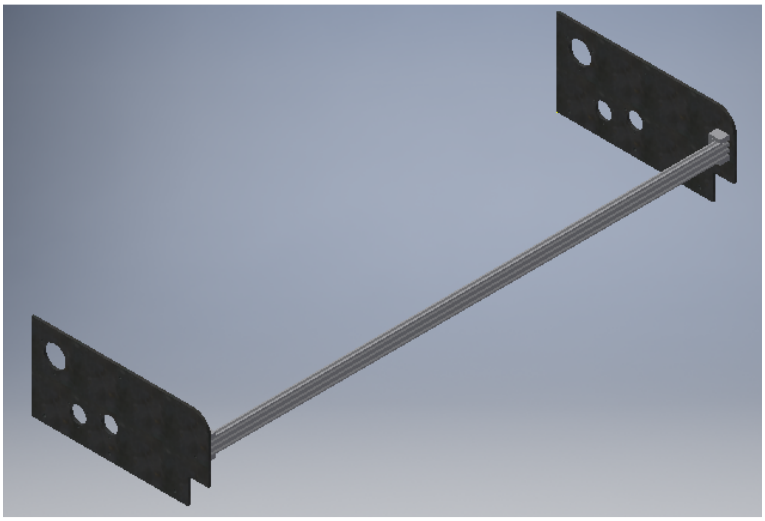


Figura 59. Guía lineal de aluminio.

- **Pisa plancha**

El pisa plancha cumple la función de sujetar la lámina PVC contra una placa fija sujetada a la estructura de la máquina, el diseño toma forma de muelas ya que nos permitirá y garantizará un método seguro de sujeción de la lámina para el corte (Figura 60).

Además, su construcción se realiza con Grilon que es un termoplástico obtenido a partir de la poliamida 6, que difiere de los plásticos de uso corriente por sus excelentes propiedades mecánicas, eléctricas y térmicas, conjuntamente por alivianar peso en el dispositivo y también por su buena maquinabilidad.

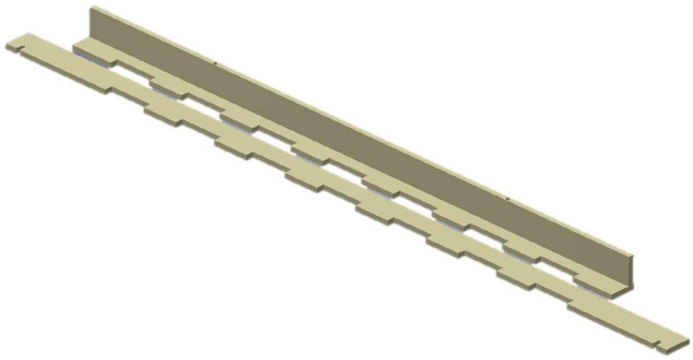


Figura 60. Mordazas de grilón.

- **Trasmisión del movimiento**

Para ejecutar el desplazamiento del porta cuchilla a la longitud requerida sobre la guía de aluminio se realiza mediante un sistema de trasmisión de banda y polea dentada como se muestra en la figura 61.

El sistema consiste en tensar la banda dentada entre dos poleas colocadas a cada extremo del sistema y posteriormente aseguradas en el porta cuchilla para generar el desplazamiento del mismo.

Como se puede observar una de las poleas se acopla al eje del motor de pasos NEMA 17 y la otra sujetada con rodamiento en una placa, lo cual se logra el desplazamiento longitudinal del porta cuchilla. (Figura 61)

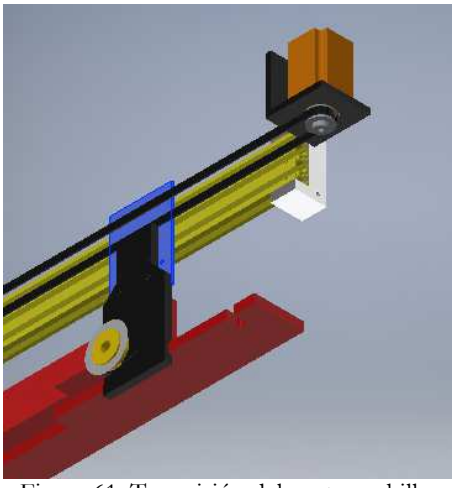


Figura 61. Trasmisión del porta cuchilla.

- **Potencia requerida para el sistema de corte transversal.**

El tiempo que se estableció para realizar el corte transversal por ciclo de las láminas PVC es de 2 seg. Para determinar la velocidad lineal de operación del porta cuchilla se hace uso de la siguiente ecuación:

$$V_P = \frac{l_p}{TCT_T} \tag{49}$$

Donde:

l_p: Longitud de acción del portacuchillas (1,5 m).

TCT_T: Tiempo de corte transversal por ciclo (2 seg).

Reemplazando en la ecuación (49) se tiene

$$V_P = \frac{1.5\ m}{2\ seg}$$

$$V_P = \frac{1.5\ m}{2\ seg} = 0.75 \frac{m}{seg}$$

Para la fuerza necesaria requerida para el desplazamiento del porta cuchilla de determina mediante el esquema (Figura 62).

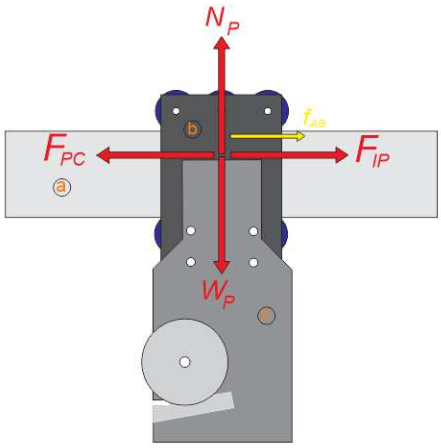


Figura 62. DCL del porta cuchilla

Analizando el diagrama de cuerpo libre de la Figura 62 se deduce:

$$\sum fy = 0 \tag{50}$$

$$N_P - W_P = 0$$

$$N_P = W_P$$

Donde:

N_P: Fuerza normal del porta cuchilla.

W_P: peso del porta cuchilla (30 N).

La fuerza debida a la fricción ejercida entre las ruedas del carro porta cuchilla se determina con:

$$f_{AB} = \mu_2 \, x \, N_p \tag{51}$$

Donde:

f_{AB}: La fuerza de fricción ejercida entre las ruedas del carro porta cuchilla.

μ_2: Coeficiente de fricción entre aluminio y plástico (0.17)

Reemplazando:

$$f_{AB} = 0.17 \text{ x } 30 \, N$$

$$f_{AB} = 5.10 \, N$$

Así mismo del diagrama de la Figura 62 se determina:

$$\sum fx = 0 \tag{52}$$

$$F_{PC} - f_{AB} - F_{IP} = 0$$

$$F_{PC} = f_{AB} + F_{IP}$$

Donde:

F_{PC}: Fuerza para desplazamiento del porta cuchilla.

F_{IP}: Fuerza de inicio de corte del porta cuchilla sobre la lámina. (15 N).

Reemplazando:

$$F_{PC} = 5.10 \, N + 15 \, N$$

$$\boldsymbol{F_{PC} = 20.10 \, N}$$

Entonces para obtener la potencia con la que se requiere realizar el desplazamiento del porta cuchilla se da:

$$P_{PC} = F_{PC} \text{ x } V_P \tag{53}$$

$$\boldsymbol{P_{PC} = 17 \, W.}$$

Para determinar el par que debe trasmitir la polea de (d = 0.06 m), acoplada en el motor de pasos se determina mediante:

$$T_P = F_{PC} \text{ x } r_P \quad (54)$$

$$T_P = 20.10\,N * 0.06\,m$$

$$T_P = 1.206\,N.m$$

El torque requerido para accionar el sistema de corte transversal, de acuerdo a los cálculos realizados es de 1.206 N-m, utilizando un margen de seguridad de 1,5 con el objeto de contemplar situaciones particulares adversas en el motor. El motor a usar sería un motor a pasos NEMA 23 (Figura 63).

Frame Size	Diameter (mm)	Typical Torque Range for a Stepper Motor (Nm)	Typical Speed Range for a Stepper Motor (RPM)
NEMA 8	20	0.01 - 0.04	0-1000
NEMA 11	28	0.06 - 0.12	0-1000
NEMA 14	35	0.05 - 0.5	0-1000
NEMA 16	39	0.1 - 0.25	0-1000
NEMA 17	43	0.2 - 1	0-1000
NEMA 23	57	0.5 - 3	0-1000
NEMA 24	60	1.2 - 4.6	0-1000
NEMA 34	86	3 - 12	0-1000
NEMA 42	102	12 - 20	0-1000

Figura 63. Denominaciones de motores Nema y sus características. [46]

5.2.6 Diseño de la trasmisión del sistema de mordazas que extienden el material.

Para realizar el respectivo desplazamiento de las mordazas que van a extender las láminas a lo largo de la mesa de acuerdo a medidas variables dependiendo del producto a elaborar se realiza mediante un sistema de trasmisión de banda y polea dentada guiados por un carril de aluminio mediante placas con ruedas (Figura 64).

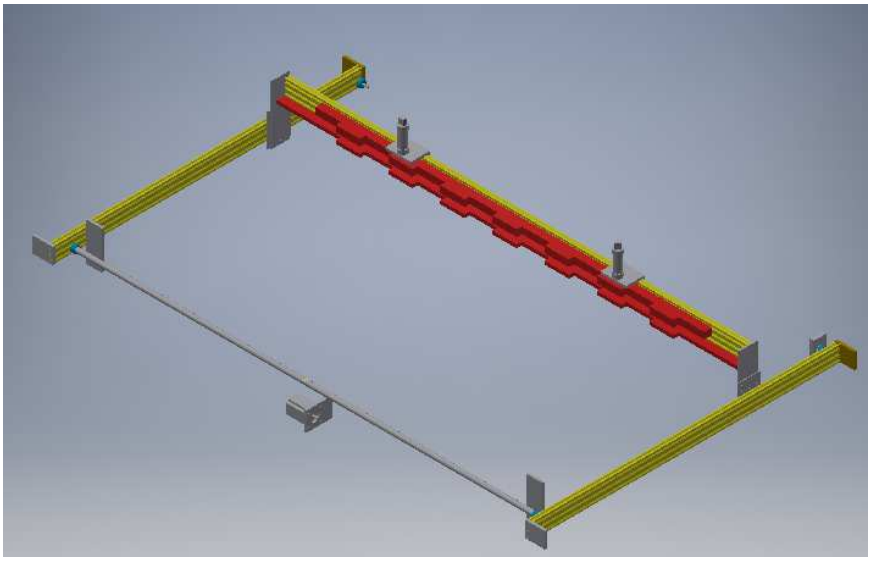


Figura 64. Sistema de Mordazas móviles

El sistema consiste en tensar la banda dentada entre dos poleas colocadas a cada extremo del sistema y posteriormente aseguradas en la placa carro guía para generar el desplazamiento del mismo a lo largo del perfil de aluminio.

- **Potencia requerida para el sistema de corte transversal.**

Para realizar el extendido de las láminas PVC por cada ciclo sobre la mesa de almacenamiento es de 2seg, en su distancia más larga del producto a obtener por parte de la empresa. Para determinar la velocidad lineal de operación de los carros que desplazan las mordazas, se encuentra mediante la ecuación:

$$V_{CM} = \frac{l_{CM}}{TE_{CM}} \tag{55}$$

Donde:

l_{CM}: Longitud máxima del productor a elaborar (0.63m).

TCT_{CM}: Tiempo de extendido de las láminas (2 seg.)

$$V_{CM} = 0.32 \frac{m}{seg}$$

Para la fuerza necesaria requerida para el desplazamiento de las mordazas del carro móvil se determina mediante el esquema (Figura 65).

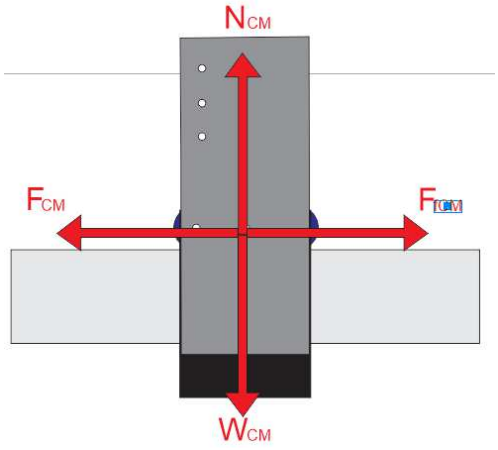


Figura 65. DCL Carro Móvil

Analizando el diagrama de cuerpo libre (Figura 65) se deduce:

$$\sum fy = 0 \tag{56}$$

$$N_{CM} - W_{CM} = 0$$

$$N_{CM} = W_{CM}$$

Donde:

N_{CM}: Fuerza normal del carro móvil.

W_{CM}: Peso del carro móvil (80 N).

La fuerza debida a la fricción ejercida entre las ruedas del carro móvil se determina con:

$$f_{AB} = \mu_2 \text{ x } N_p \tag{57}$$

Donde:

f_{CM}: La fuerza de fricción ejercida entre las ruedas del carro móvil.

μ_2: Coeficiente de fricción entre aluminio y plástico (0.17)

Reemplazando en la ecuación 57:

$$f_{AB} = 0.17 \text{ x } 80\ N$$

$$f_{AB} = 13.6\ N$$

Así mismo del diagrama de la Figura 65 se determina:

$$\sum fx = 0 \tag{58}$$

$$F_{CM} - f_{CM} - F_{CM} = 0$$

$$F_{CM} = f_{CM} + F_{CM}$$

Donde:

F_{CM}: Fuerza para desplazamiento del carro movil.

F_{CM}: Fuerza de inicio de corte del carro móvil. (40 N).

Reemplazando:

$$F_{CM} = 13.6\ N + 40\ N$$

$$F_{CM} = 53.6\ N$$

Entonces para obtener la potencia con la que se requiere realizar el desplazamiento de las mordazas del carro móvil:

$$P_{CM} = F_{CM} * V_{CM} \tag{59}$$

$$P_{CM} = 53.6N * 0.75 \frac{m}{seg}$$

$$P_{PC} = 40\ W.$$

Para determinar el par que debe trasmitir la polea de (d = 0.06 m), acoplada en el motor de pasos se determina mediante:

$$T_P = F_{PC} \text{ x } r_P \quad (60)$$

$$T_P = 53.06\, N\, x\ 0.06\, m$$

$$T_P = 3.18\, N.m$$

El torque requerido para accionar el sistema de mordazas móviles, de acuerdo a los cálculos realizados fue de 3.18 N-m, utilizando un margen de seguridad de 1,5 con el objeto contemplar situaciones particulares adversas en el motor se obtiene un motor de torque 4.7N-m. De acuerdo a la Figura 63 el motor a seleccionar sería un motor a pasos NEMA 34.

5.2.7 Diseño de la placa lateral de soporte.

Todos los sistemas antes diseñados se van a fijar a dos placas situadas a los extremos del dispositivo. Estas placas deben ser capaces de soportar el peso y las reacciones de los diferentes sistemas (Figura 66).

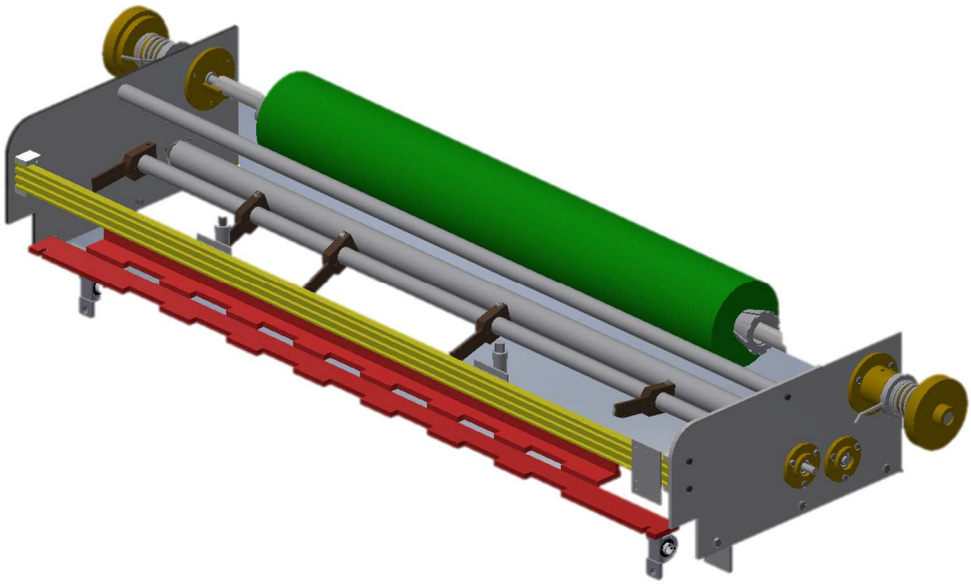


Figura 66. Sistemas ensamblados a las placas laterales.

- **Dimensionado de la placa soporte.**

Al estudiar el esfuerzo de apoyo en conexiones se puede encontrar el diámetro del eje de soporte y el espesor de la placa para soporte de los diferentes sistemas, mediante la ecuación 8 se puede determinar el espesor de pared t, utilizando la siguiente relación:

$$\sigma_u = \frac{F}{td} \quad (61)$$

Donde:

F = Fuerza aplicada

t = Espesor de la placa

d = Diámetro del pasador

Para este análisis se toma en cuenta el peso de todos los sistemas que soportará la placa, entonces teniendo en cuenta dichos criterios el espesor de pared es:

$$\sigma_{perm} = \frac{F_{(\max)}}{td} \tag{62}$$

Despejando t (espesor) se obtiene:

$$\boldsymbol{t = 5.47mm}$$

El cálculo realizado anteriormente nos da un espesor mínimo de pared es de 5.47 mm, con este valor la placa soportará todas las cargas que en ella se instalen, pero se optó por sobredimensionarlo, seleccionando un espesor de placa de 10mm, esto por estética y confiabilidad a la hora de operar la máquina, de esta manera se puede garantizar al diseño.

* Cálculo de pernos para la sujeción.

Las placas se fijan a los extremos de la estructura general mediante pernos de anclaje. Para lo cual determinamos el diámetro mínimo requerido para que dichos pernos soporten el peso mismo de las placas y de todos los sistemas que en ella se apoyan y fijan.

Para ello tenemos las siguientes consideraciones: peso de las placas=24 kg, pesos de los sistemas=150 kg, $\sigma_{per} = 83.33\ MPa$.

El peso total que va soportar la placa seria: su propio peso y la mitad del peso total de los sistemas des dispositivo, por lo tanto, tenemos:

$$P_{total} = 24kg + 75kg = 99kg$$

$$F = 971.19\ N$$

Despejamos el diámetro requerido para los pernos que van a fijar la placa.

$$\sigma_{per} = \frac{F}{A} \tag{63}$$

$$A = \frac{F}{\sigma_{per}}$$

$$\boldsymbol{A = 11.65\ mm^2}$$

$$d_{req} = \sqrt{\frac{4*A}{\pi}} \tag{64}$$

$$\boldsymbol{d_{req} = 3.85\ mm} \approx \text{M5}$$

El diámetro mínimo del perno debe ser de 3.85 mm para soportar todas las cargas que se instalen en la placa, se escoge un perno M8 para fijar las placas y garantizar que los mismos no fallen ante cargas repentinas y darle mayor robustez al dispositivo.

5.2.8 Diseño del sistema de movilidad de la mesa de trabajo.

La mesa de trabajo donde nos permitirá el correcto apilamiento de las láminas de PVC cortadas es diseñada mediante 4 usillos de bolas en los extremos (Figura 67), ya que es un actuador lineal mecánico que convierte el movimiento de rotación en movimiento lineal con bajas pérdidas por fricción. Se compone de un eje roscado que proporciona un camino de rodadura helicoidal a unos rodamientos de bolas que actúan como un tornillo de precisión.

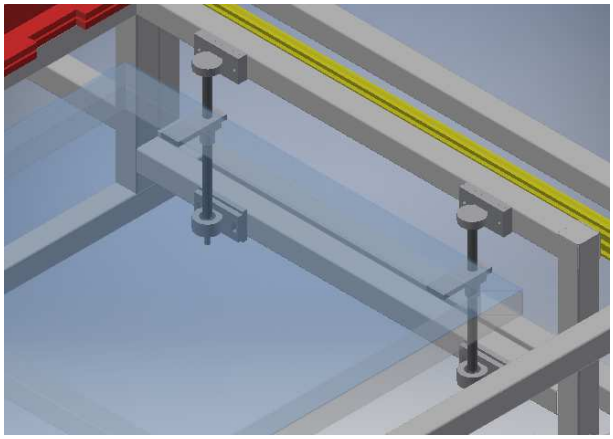


Figura 67. Sistema de la mesa de trabajo.

El peso de la estructura de la mesa tomada del software Inventor es de 16kg (Figura 68), donde se adiciona el peso máximo de 3 bobinas cortadas en láminas que sería de 225 kg. Así se obtendrá un peso total de 241 kg, lo cual se divide para cada usillo; se tendría un peso de 60.25 kg. Por lo tanto, la carga para cada usillo de bolas será de 592 N. para este diseño se considera un factor de seguridad de 3 donde cada usillo deberá soportar una carga de 1.77 KN.

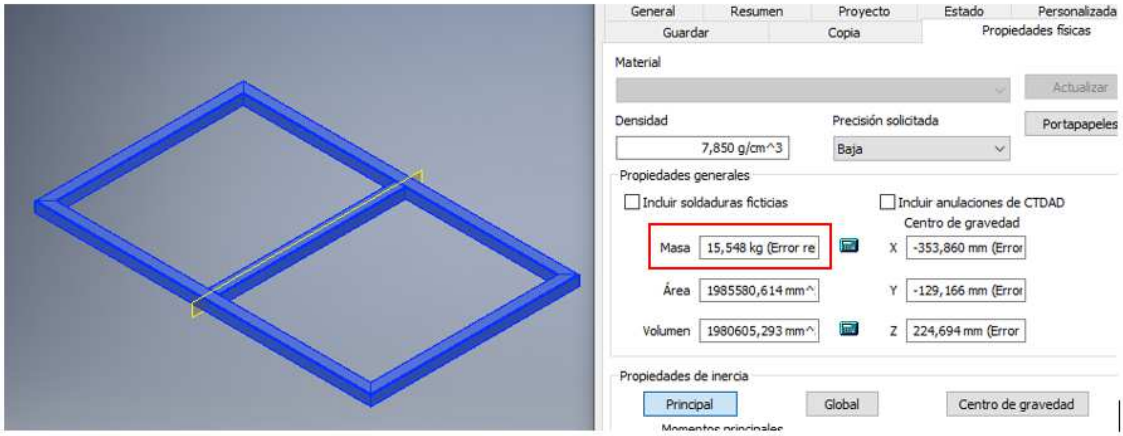
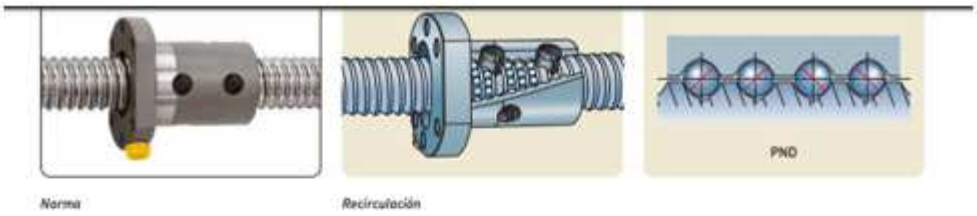


Figura 68. Estructura de la mesa de trabajo

Para la elección correcta recurrimos al catálogo, donde se escogió un usillo de 20 mm de diámetro (Figura 69), existente en el mercado y de acuerdo a la carga requerida anteriormente.



Diámetro nominal	Paso	Tuerca Capacidad de carga básica dinámica	Tuerca Capacidad de carga básica estática	Número de circuitos de bolas	Par de precarga medio	Rigidez	Inercia	Grasa	Peso	Eje del husillo Masa	Eje del husillo Inercia	Eje del husillo Grasa	Designación
d_0	P_h	C_a	C_{oa}	–	T_{pr}	R_a							
mm	mm	kN		–	Nm	N/µm	kgmm²	cm³	kg	kg/m	kgmm²/m	cm³/m	–
16	5	5,5	7,3	2×2	0,08	147	46	1	0,19	1,3	33	2,1	PND 16×5 R
	10	10,7	17,2	2×2×1,8	0,15	263	56	2,7	0,28	1,21	30,7	1,9	PND 16×10 R[1]
20	5	8	11,9	2×2	0,14	248	91	1,3	0,26	2	85	2,7	PND 20×5 R
25	5	12,7	22,7	2×3	0,28	436	405	2	0,4	3,3	224	3,4	PND 25×5 R
	10	13,3	19,5	2×2	0,3	264	245	4,5	0,53	3,2	255	3,2	PND 25×10 R
32	5	19	41,3	2×4	0,52	734	453	3,2	0,715	5,6	641	3,2	PND 32×5 R
	10	21,9	39	2×3	0,61	490	490	7,6	0,81	5,6	639	4,1	PND 32×10 R
40	5	25,6	65,6	2×5	0,71	968	1 110	4,8	1,3	9	1 639	5,5	PND 40×5 R/L[2]
	10	52,2	99,3	2×4	1,47	793	1 290	15,5	1,8	8,4	1 437	4,9	PND 40×10 R
50	10	71,3	157,3	2×5	2,47	1 222	2 940	27,5	2,6	13,6	3 736	7,9	PND 50×10 R
63	10	81,5	206,9	2×5	3,46	1 448	5 290	26,8	3,2	22	9 913	7,9	PND 63×10 R

Figura 69. Selección del usillo. [43]

5.2.9 Dimensionamiento de la estructura para el soporte de todos los sistemas.

Luego de haber dimensionado todos los sistemas del dispositivo semiautomático para el corte de bobinas de plástico, se procede al dimensionamiento de la estructura principal la cual va a soportar todo el peso de los componentes que contiene el dispositivo, para ello se toman

en cuenta los componentes más relevantes como son: el peso de la placa lateral de soporte $(P_{(P)})$, el peso del sistema de sujeción y des bobinado $(P_{(s)})$ y el peso de la mesa $(P_{(m)})$ el mismo que soporta el peso del producto final ya procesado (Figura 70).

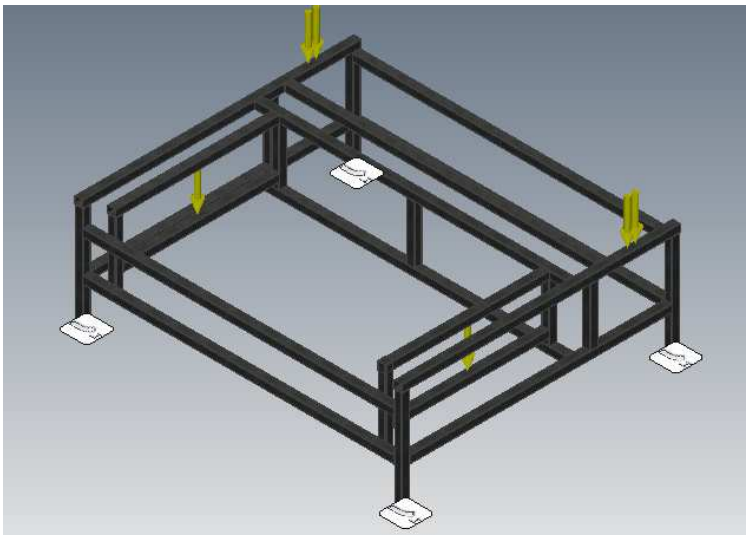


Figura 70. Modelo 3D de la estructura total.

Se observa la estructura total, para proceder a realizar el cálculo se toma en cuenta la mitad de la estructura ya que, al ser simétrica, podemos realizar el cálculo solo para la mitad y por simple deducción las cargas que van a soportar serán iguales en la otra mitad de la estructura. En la figura 68 se observa la distribución de reacciones en la estructura (Figura 71):

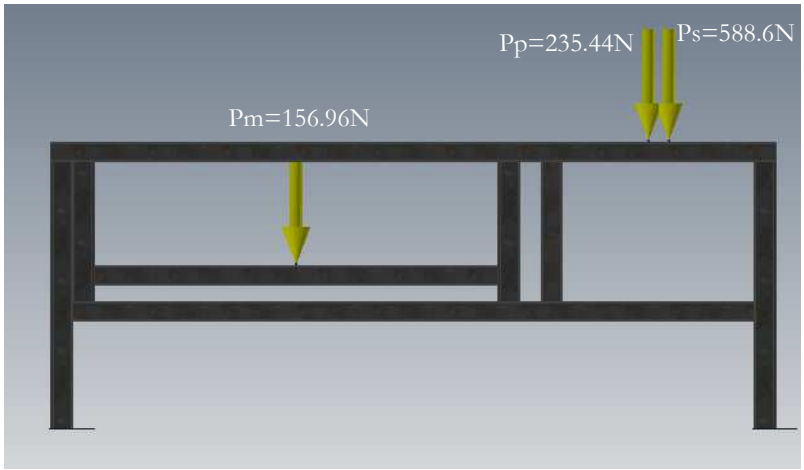


Figura 71. Distribución de cargas en la estructura.

La estructura tiene un largo total de 1.7m y las cargas que actúan son: $P_{(P)} = 24\ Kg$, para $P_{(s)} = 60\ Kg$ y para $P_{(m)} = 8\ Kg$. La mesa móvil está apoyada en 4 tornillos que son los que le dan la movilidad, por ende, cada tornillo soportara 4 Kg. (Figura 72)

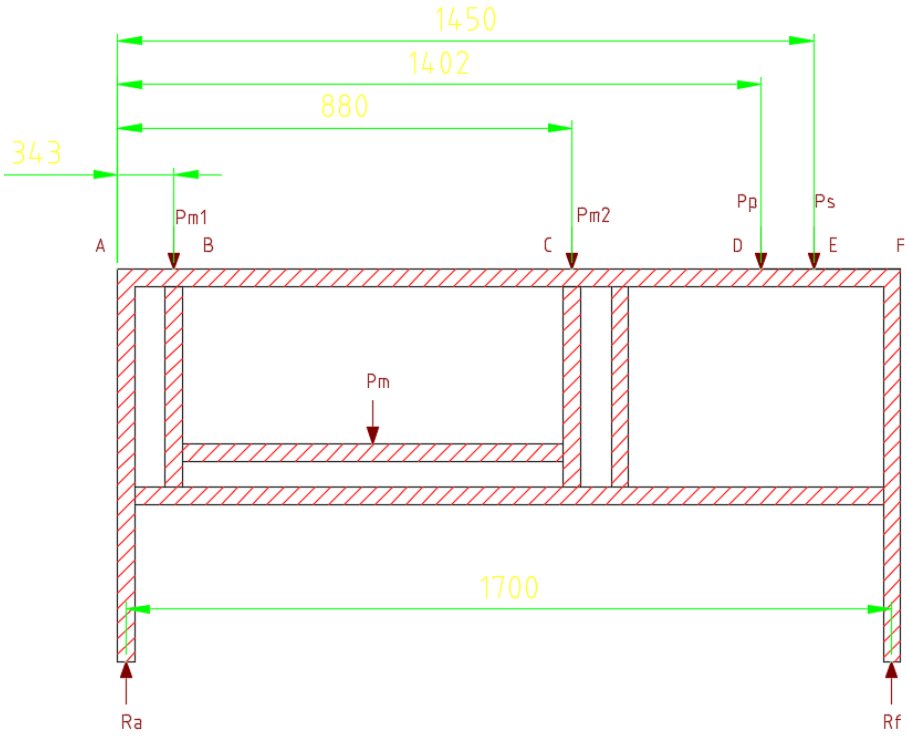


Figura 72. Distribución de cargas y reacciones en la estructura.

A continuación, se muestra el diagrama de cuerpo libre de la estructura general con sus respectivas cargas (Figura 73).

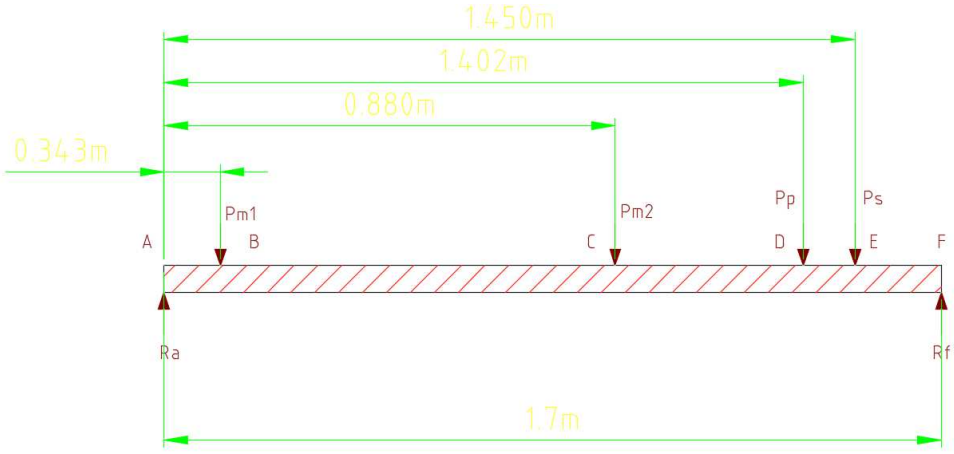


Figura 73. Diagrama de cuerpo libre de la estructura.

Se procede a realizar el análisis estático desde el tramo de A hasta F que permite obtener el valor de las cargas que actúan sobre toda la estructura.

$$+\rightarrow \sum F_X = 0 \tag{65}$$

$$+\uparrow \sum F_Y = 0 \tag{66}$$

$$R_A - P_{m1} - P_{m2} - P_P - P_s + R_F = 0 \tag{67}$$

$$R_A - 39.24N - 39.24N - 235.44N - 588.6N + R_F = 0$$

$$+\circlearrowleft \sum M_A = 0 \tag{68}$$

$$-0.343(39.24N) - 0.880(39.24N) - 1.40(235.44N) - 1{,}45(588.6N) + 1.7(R_F) = 0$$

$$\boldsymbol{R_F = 724.17\ N}$$

$$\boldsymbol{R_A = 178.36\ N}$$

A continuación, para obtener los valores máximos de la fuerza cortante y del momento flector en la estructura, se realiza los diagramas de fuerza cortante y momento (Figura 74):

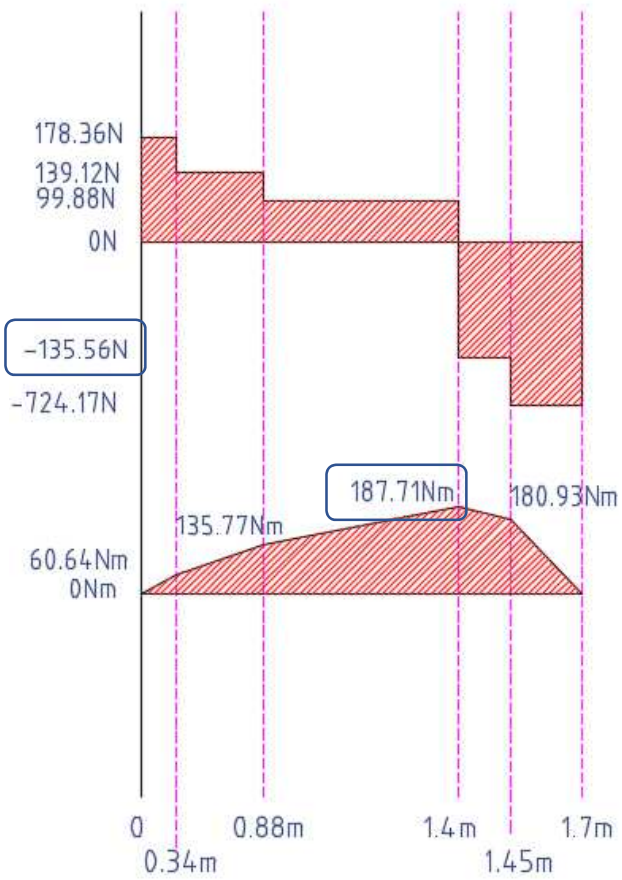


Figura 74. Diagrama del cortante y momento flector de la estructura.

Como se observa en la figura 71, el momento máximo se produce cuando el esfuerzo cortante es de 135.56N, a una distancia de 1.40m mismo que se calculó a través del método de áreas ayudándonos del diagrama de cortante, por lo tanto, tenemos que el momento máximo es:

$$\boldsymbol{M_{max} = 187.71\ N * m}$$

Se hace uso de la ecuación 12 donde σy representa el esfuerzo de fluencia del acero estructural A-36 (Anexo 1) [2]. Siendo este el material escogido para toda la estructura debido a sus propiedades mecánicas que lo hacen óptimo para este tipo de estructuras, a de más que

en el medio es muy común encontrar este tipo de material ya que en los talleres mecánicos se utilizan para todo tipo de estructura entonces se tiene como dato:

$$\boldsymbol{\sigma_{perm} = 83.33\ MPa}$$

Reemplazando estos valores en la ecuación 13 se obtiene el mínimo valor del módulo seccional:

$$S_{min} = \frac{187.71Nm}{83.33\text{MPa}}$$

$$\boldsymbol{S_{min} = 0.225E^{-5}m^3 \approx 2.25\ cm^3}$$

Con este valor encontrado se recurre a un catálogo de tubos de perfil cuadrado disponible en la red (Anexo 3) [4], en el que podemos observar un módulo de sección aproximado al que se calculó; dando como resultado un tubo cuadrado de 40x40x1.5 mm, que es el material con la sección mínima para soportar las cargas del dispositivo. Por estética y por su gran disponibilidad en el mercado local se eligió un tubo de perfil cuadrado de 50x50x2 mm, que según el anexo 3 su módulo de sección es 5.65cm^3 que es mayor al calculado, obteniendo con esto que la estructura tenga un factor de seguridad considerable frente a cargas mayores que puedan presentarse.

Además, para un diseño seguro se requiere que $\sigma_{max} \leq \sigma_{perm}$ donde el σ_{max} viene dado por la ecuación 15, en el cual S es el módulo seccional del perfil seleccionado.

$$\sigma_{max} = \frac{M_{max}}{S} \tag{69}$$

$$\sigma_{max} = 33.22\ MPa$$

Por tanto, $\sigma max \leq \sigma perm$:

$$\boldsymbol{33.22\ MPa\ \leq 83.33\ MPa}$$

5.2.10 Diseño del sistema neumático

El diseño del sistema neumático nos posibilita asignar los actuadores neumáticos apropiados para otorgar el movimiento requerido a los sistemas de pisa plancha y mordazas móviles antes diseñados.

- **Descripción del sistema neumático**

El sistema neumático para el dispositivo parte desde la toma de aire instalada en la propia empresa, lo cual entrega una presión de 6 Bar. Además, en el dispositivo se instala una unidad de mantenimiento FRL con el propósito de eliminar el agua condensada y retener

partículas sólidas que son llevadas por el aire en toda la longitud de las tuberías hacia los componentes de trabajo y mando, propiamente nos permite regular la presión aplicada para el dispositivo dentro de límites apropiados para un correcto funcionamiento y rendimiento.

El dispositivo semiautomático cuenta con cilindros de doble efecto para el accionamiento del pisa plancha (Figura 75), que sujetara el material al momento de realizar el corte, los mismos que van a ser acoplados al perfil de aluminio mediante placas.

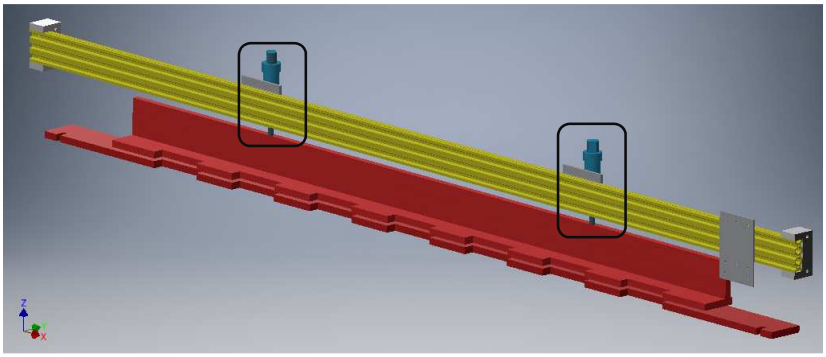


Figura 75. Pisa Plancha.

También se asigna 2 cilindros neumáticos para las mordazas móviles del sistema de sujeción del material (Figura 76), que permiten el extendido de las láminas de PVC sobre la mesa de trabajo.

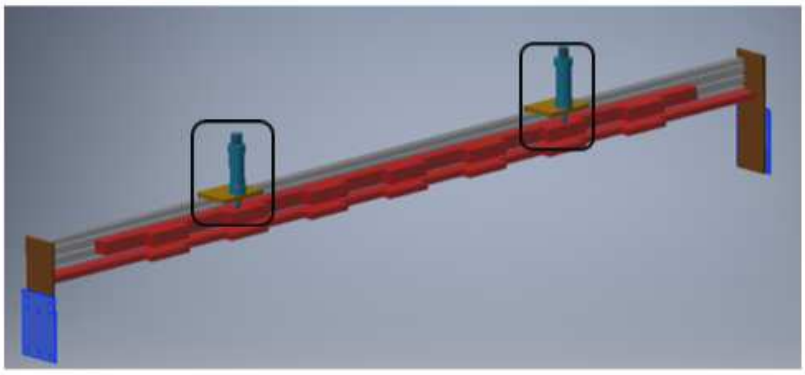


Figura 76. Mordazas móviles.

Los cilindros neumáticos serán comandados por 2 electroválvulas 5/2, que controlan tanto en el avance como en el retorno de los vástagos en cada cilindro, adicional para evitar el ruido producido por el escapa de aire de las electroválvulas se utiliza silenciadores de escape.

Además, con el fin de controlar la velocidad de salida y retorno de los vástagos de cada uno de los cilindros se acoplan válvulas reguladoras de caudal.

Para la conexión de los elementos neumáticos se utiliza tubería de poliamida de 6mm conjuntamente con racores y conectores en T. Para la entrada de aire a las electroválvulas se

decidió acoplar racores de 1/8 por la división de aire que tendremos a la salida lo cual se quiere evitar la caída de presión.

Dimensionamiento y selección de cilindros neumáticos.

Los cilindros neumáticos se encargan de activar y desactivar tanto el pisa plancha como las mordazas para sujetar el material repetitivamente al momento del corte para que no haya desplazamiento de las láminas.

Para determinar la fuerza requerida por cada cilindro se considera el peso del pisa plancha y la mordaza que son de 5Kg.

$$P = 5\ kg$$

$$F = 5\ kg\ \cdot 9.81\ \frac{m}{s^2} = 49.05\ N$$

Se considera una pérdida de presión al dispositivo, tendríamos de 5 bar. Teniendo en cuenta estos datos iniciales podremos encontrar el diámetro del cilindro con la fórmula:

$$d_c = \sqrt{\frac{4 \cdot F_C}{\pi \cdot P}} \tag{70}$$

Dónde:

d_c: Diámetro del cilindro neumático [mm].

F_C: Fuerza requerida [N].

P: Presión de alimentación [N/mm2].

Remplazando valores:

$$d_c = \sqrt{\frac{4 \cdot 49.05\ N}{\pi \cdot 0.5\ \mathrm{N/mm2}}} \tag{71}$$

$$d_c = 11.2\ mm$$

De esta forma se finaliza que se requiere un cilindro de diámetro igual o mayor al calculado para garantizar el correcto funcionamiento tanto del pisa plancha como de la mordaza móvil, para este caso y por la existencia en el mercado local se elige un actuador de diámetro de cilindro de 20 mm con una carrera de 50 mm. (Figura 77)

SELECCIÓN DEL MATERIAL

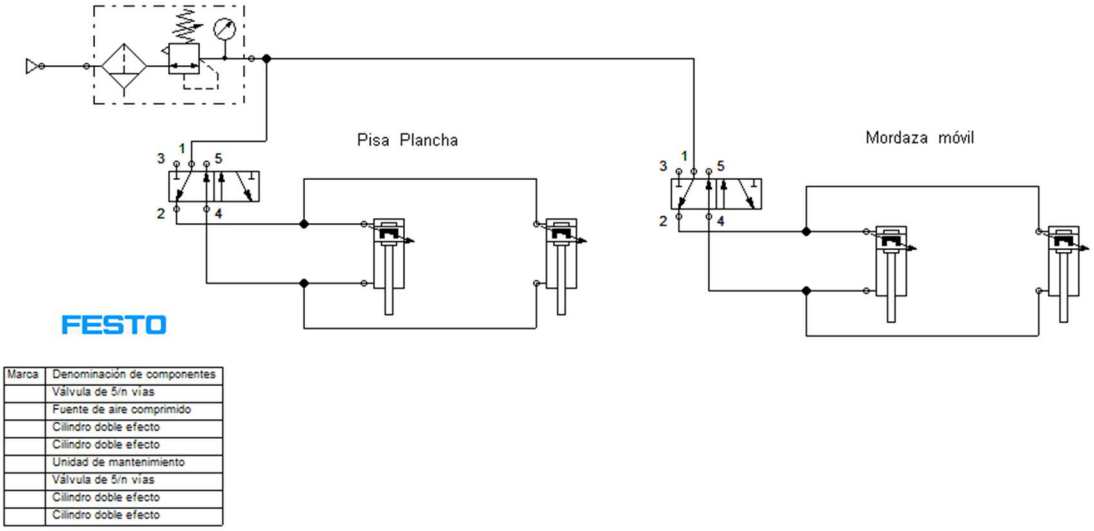
Ø (mm)	carrera (mm)	vastago recogido en reposo (SER) código	vastago recogido en reposo (SER) referencia	vástago fuera en reposo (SES) código	vástago fuera en reposo (SES) referencia	Ø racordaje
Cilindro de simple efecto previsto para detectores *						
8	25 50	43500258 43500259	C 8 AS 25 - SER/DM C 8 AS 50 - SER/DM	–	–	M5
10	25 50	43500260 43500261	C 10 AS 25 - SER/DM C 10 AS 50 - SER/DM	–	–	M5
12	25 50	43500262 43500263	C 12 AS 25 - SER/DM C 12 AS 50 - SER/DM	43500218 43500219	C 12 AS 25 - SES/DM C 12 AS 50 - SES/DM	M5
16	25 50	43500264 43500265	C 16 AS 25 - SER/DM C 16 AS 50 - SER/DM	43500220 43500221	C 16 AS 25 - SES/DM C 16 AS 50 - SES/DM	M5
20	25 50	43500266 43500267	C 20 AS 25 - SER/DM C 20 AS 50 - SER/DM	43500222 43500223	C 20 AS 25 - SES/DM C 20 AS 50 - SES/DM	G 1/8
25	25 50	43500268 43500269	C 25 AS 25 - SER/DM C 25 AS 50 - SER/DM	43500224 43500225	C 25 AS 25 - SES/DM C 25 AS 50 - SES/DM	G 1/8

* **Los detectores magnéticos de posición se solicitan por separado :** modelo "T" (ver página P291), tipo ILE o magnético-resistivo

Figura 77. Selección de Actuador. [47]

- **Diseño del circuito neumático.**

Se hace uso del software Festo Fluidísima 3.6 para realizar el diseño del circuito neumático del dispositivo (Figura 78).



Marca	Denominación de componentes
	Válvula de 5/n vías
	Fuente de aire comprimido
	Cilindro doble efecto
	Cilindro doble efecto
	Unidad de mantenimiento
	Válvula de 5/n vías
	Cilindro doble efecto
	Cilindro doble efecto

Figura 78. Circuito neumático

Para garantizar el correcto funcionamiento del circuito neumático se realiza la simulación mediante el mismo programa (Figura 79).

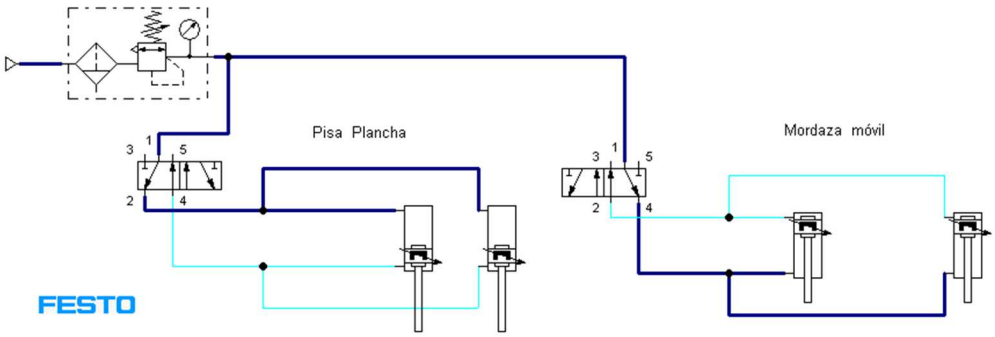


Figura 79. Funcionamiento del pisa plancha.

5.2.11 Diseño del sistema eléctrico y de mando.

El diseño del sistema eléctrico y de mando debe alcanzar un funcionamiento óptimo, evitando que el dispositivo tenga paradas inesperadas e innecesarias.

Por medio del panel de control el operario interactúa directamente con el dispositivo, mediante el cual se estima un diseño que facilite la realización del trabajo y permita una rápida y fácil intervención en caso de averiarse.

De acuerdo a la necesidad del proceso de corte la laminas, se toma la decisión de comandar el dispositivo de dos formas en modo manual y modo automático.

El modo manual debido a que el operario actúa sobre el dispositivo mediante un pulsador, pedal, selector para el accionamiento del circuito. Este modo de control es necesario en la parte de calibración del dispositivo al inicio del proceso.

El modo automático forma parte de un progreso industrial, el dispositivo realiza la operación sin la intervención del operario, con una vigilancia cada cierto ciclo, además con este modo obtenemos beneficios como mayor productividad, mejor calidad, menos desperdicio, menor consumo de energía, etc. para su funcionamiento el operario ingresa valores iniciales como pueden ser números de corte y velocidades con eso da inicio al proceso.

El panel de control consta de tres secciones principales que son:

- Pantalla.

- Paro de emergencia.

- Alarma Buzzer.

- Swich ON-OFF

Además, se diseña el circuito eléctrico de fuerza del dispositivo que garantice un correcto funcionamiento del proceso que consta de motores a pasos NEMA con sus respectivos drivers, electroválvulas, contactores, relés, etc.

Para la adquisición de todos los elementos a utilizarse en la automatización se realiza una selección de diferentes tipos y marcas, los mismos que cumplan con los requerimientos de diseño y que además estén en el mercado local para su fácil adquisición.

Los sensores inductivos tipo PNP cumplen la función de un final de carrera para energizar y des energizar los motores de paso, al ser estos los más adecuados para este tipo de aplicaciones. (Figura 80).

Figura 80. Sensor seleccionado. [48]

El PLC que se utiliza para la automatización del dispositivo es de marca XINJE, modelo XC3 32T E, el cual se puede apreciar en la Figura 80. Se hace uso de este dispositivo ya que cumple con todos los requerimientos para la automatización de la máquina, se encuentra en el mercado local y permite una fácil y rápida comunicación entre todos los sistemas. La Tabla 5 presenta las características técnicas del PLC seleccionado. (Figura 81)

Figura 81. PLC seleccionado [49]

Tabla 5. Características PLC. [49]

- Fuente de alimentación: 110/220 VAC - Frecuencia: 60/50 Hz - Soporte RTC - Soporte de control lógico básico y operación de datos - Admite recuento de alta velocidad - Interrupción externa - Bloque de función del lenguaje C - Interruptor libre para puntos de E / S - Comunicación de protocolo libre y comunicación MODBUS - COM 1: RS-232, estar conectado a la máquina host o HMI para programación o depuración - Capacidad del programa de usuario: 8000 pasos - Puntos de E / S: 18 puntos de entrada, 14 puntos de salida - Formato de salida: Transistor - Protección de contraseña: 6 caracteres ASCII - Ajuste del intervalo de exploración de tiempo: 1 ~ 99Ms

La pantalla o el panel de operación del dispositivo es de marca XINJE, modelo TH465-MT , el cual se puede apreciar en la Figura 81. Es una pantalla touch accesible y que podemos encontrar en el mercado local y una comunicación rápida con el PLC. La Tabla 6 presenta las características técnicas. (Figura 82)

Figura 82. Pantalla seleccionada [50]

Tabla 6. Características pantalla. [50]

1. Pantalla táctil de 4,3 pulgadas, simplificar el diseño 2. 65536 True Colors mostrar, apoyar las imágenes de formato BMP, JPEG 3. Rica biblioteca de imágenes 3D puede hacer que la pantalla con mayor intensidad 4. Selección del componente flexible del espacio, autodefinido animación vía design 5. Interruptor simple configuración para cambiar los modos, precisa la función de ajuste de la zona de contacto 6. La auto-define la función de ahorro y la recogida de datos 7. Soporta varios modos de procesamiento de datos, como tendencia en el tiempo mapa, mapa de tendencias XY… 8. 2 puertos USB puede darse cuenta de la duplicación de datos y la transferencia 9. Dos puertos COM de forma independiente y la comunicación puede darse cuenta de multi-THs comunicarse con un PLC.

Para la instalación y conexión del sistema eléctrico de los motores a pasos con los respectivos drives, el PLC, una fuente de alimentación de 24V se sigue un diagrama esquemático generalizado para estos elementos como podemos observar en la Figura 83

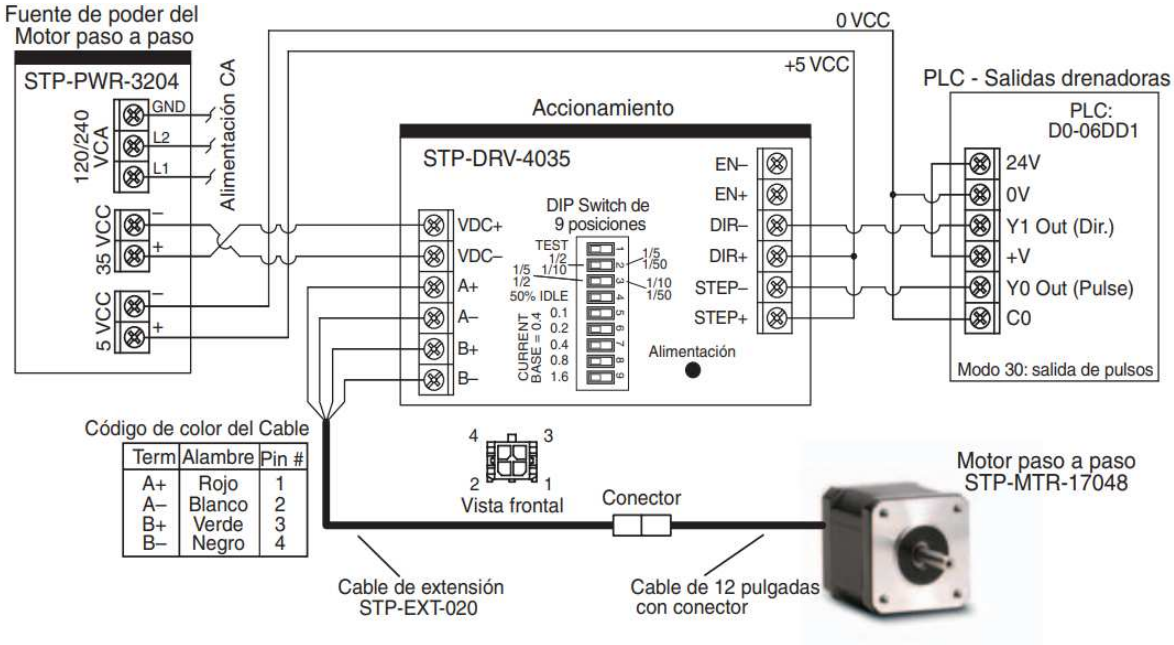


Figura 83. Diagrama eléctrico. [51]

5.3 Construcción

Una vez que se ha terminado con la etapa de diseño de todos los sistemas y componentes que conforman la máquina se procede con la construcción y montaje de los mismos. Se realiza varias cotizaciones con los diferentes distribuidores del medio con la finalidad de determinar la disponibilidad de cada uno de los materiales a utilizar, teniendo en cuenta que estos cumplan con las condiciones y restricciones necesarias para el correcto funcionamiento del dispositivo.

Se determinan los procesos tanto convencionales como especiales, que se utilizarán en las diferentes etapas del proceso de construcción de los componentes del dispositivo. Para la construcción de la máquina es necesario contar con un taller dotado de las máquinas necesarias para llevar a cabo los procesos convencionales de manufactura tales como: torno, fresadora, limadora, soldadora, prensa, amoladora, etc. También se requieren dispositivos de medida como son: flexómetro, calibrador, micrómetro, entre otros, los cuales permiten determinar si las dimensiones de los componentes se encuentran dentro de las tolerancias establecidas en los planos de construcción.

- **Procesos convencionales**

Todos los componentes del dispositivo fueron obtenidos a través de procesos de manufactura convencional tales como:

- **Torneado**

El proceso de torneado fue fundamental dentro de la construcción del dispositivo ya que la mayoría de las piezas fueron obtenidas a través de este proceso, siendo útil para conseguir los diámetros y longitudes necesarias para los ejes utilizados dentro de la construcción de los componentes, de tal manera que esta es la actividad que ocupo la mayor cantidad de tiempo dentro de todo el proceso de construcción.

- **Fresado**

En la construcción de los componentes también se utilizó el proceso de fresado para la construcción de diferentes ranuras, agujeros, placas de soporte, entre otros.

Las partes del dispositivo que son de grilón fueron totalmente mecanizadas mediante fresadora para realizar los distintos destajes y para obtener perpendicularidad entre las caras.

- **Soldadura**

El proceso de soldadura empleado para la construcción de los componentes corresponde al proceso SMAW mediante electrodos E-6011, debido a que es el recomendado para la soldadura de estructuras metálicas gracias a sus excelentes características de penetración y gran manejo del arco de suelda, lo cual lo hacen óptimo para este proceso.

Los factores que se tomaron en cuenta para la selección de este proceso son: el costo de soldadura, disponibilidad del equipo de soldadura, habilidad de soldadura.

5.3.1 Construcción de la estructura soporte.

Considerando que en esta estructura se montarán todos los sistemas de la máquina, como se había definido en el diseño, se utilizan tubos de perfil cuadrado de 50 x 50 x 2 mm para su construcción, lo cual se detalla el proceso de trabajo. (Figura 84)

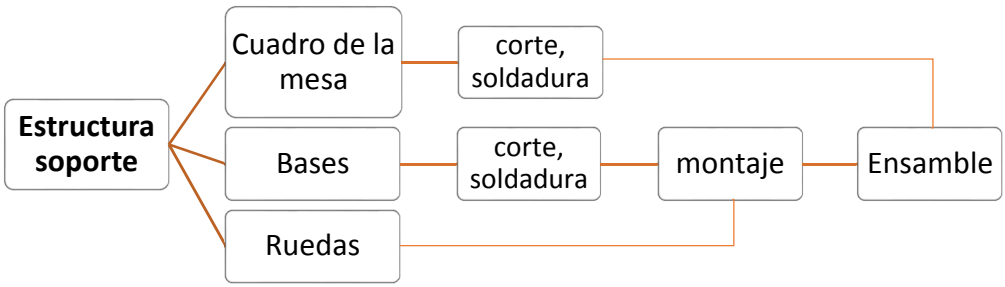


Figura 84. Diagrama del proceso de construcción.

En primer lugar, se corta el tubo a las medidas requeridas. (Figura 85)

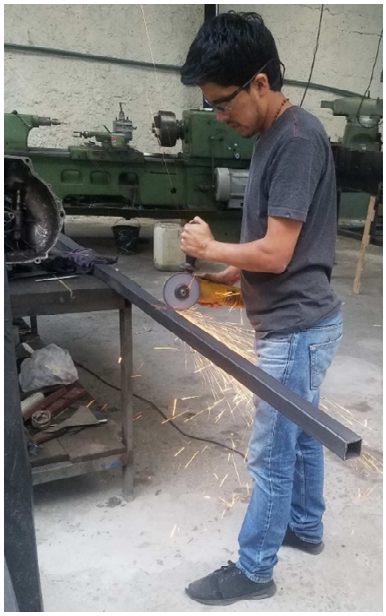


Figura 85. Proceso de corte de la estructura soporte.

Luego se arma el cuadro de la mesa, verificando que se encuentre correctamente escuadrado (Figura 86). Para a continuación ensamblar las ruedas (Figura 87).

Figura 86. Proceso de corte de la estructura soporte.

Figura 87. Fijación de las ruedas.

Posterior a esto se procede a realizar la fijación de cada una de las partes que componen la estructura principal del dispositivo, para luego soldarlas (Figura 88).

Figura 88. Soldadura de la estructura soporte.

Finalmente se verifica que las medidas estén acordes a las diseñadas (Figura 89).

Figura 89. Estructura soporte terminada.

5.3.2 Construcción del sistema de sujeción y desbobinado.

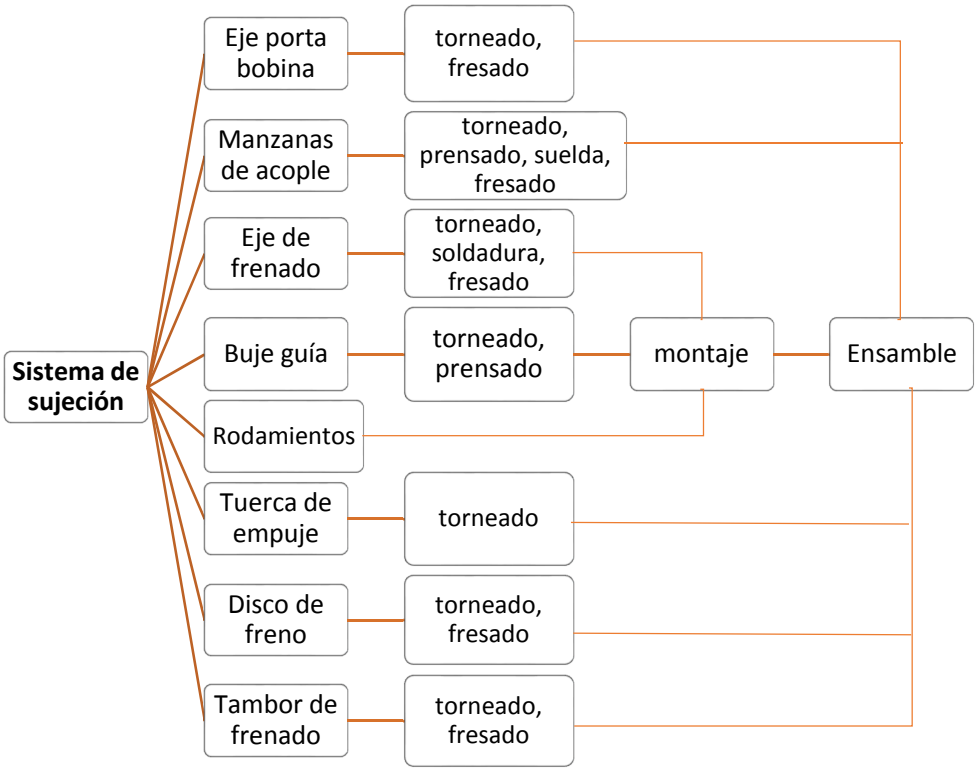


Figura 90. Diagrama del proceso de construcción.

Para la obtención de las diferentes partes que componen este sistema se hizo uso de procesos de torneado, fresado, prensado y soldado (Figura 91).

En primer lugar, se mecanizaron los ejes a las medidas requeridas de diámetro y longitud de acuerdo a los planos establecidos.

Figura 91. Torneado de los ejes.

Luego con el uso de la prensa hidráulica se hizo un injerto a dichos ejes para obtener las tapas de las manzanas que fijan este sistema a la placa (Figura 92).

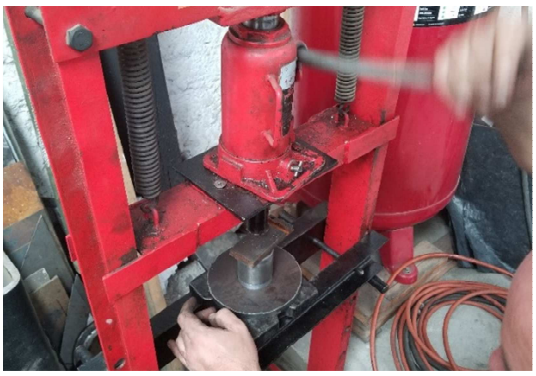


Figura 92. Prensado.

Posterior a esto, se realiza la soldadura de los injertos y el mecanizado de los tambores de freno (Figura 93-94-95).

Figura 93. Soldadura de las piezas

Figura 94. Buje guía roscado

Figura 95. Tambor de frenado

Finalmente, se realiza el ensamble de todos los componentes de sistema de sujeción y desbobinado (Figura 96).

Figura 96. Ensamble de todos los componentes.

5.3.3 Construcción del sistema de rodillo de guiado.

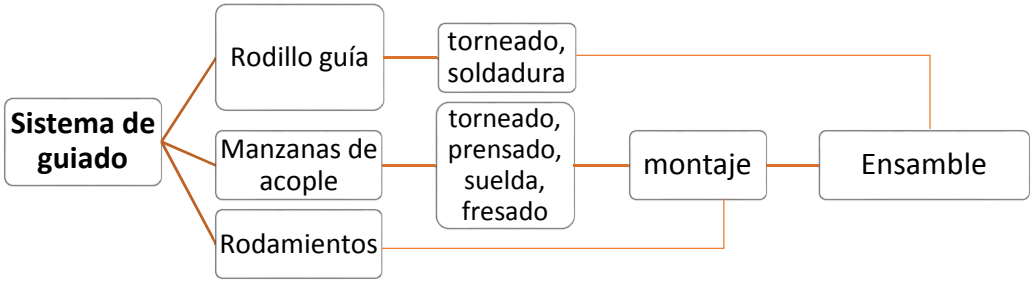


Figura 97. Diagrama del proceso de construcción.

En primer lugar, se tornea los extremos del tubo para realizar el injerto de eje para colocar los rodamientos (Figura 98).

Figura 98. Injerto de eje en los extremos del tubo.

Las manzanas de acople se construyen de igual manera que las manzanas para el sistema de sujeción y desbobinado, con la diferencia que en estas manzanas se tornea el diámetro requerido para la cavidad que aloja los rodamientos (Figura 99).

Figura 99. Manzana de acople.

5.3.4 Construcción del Sistema de corte longitudinal.

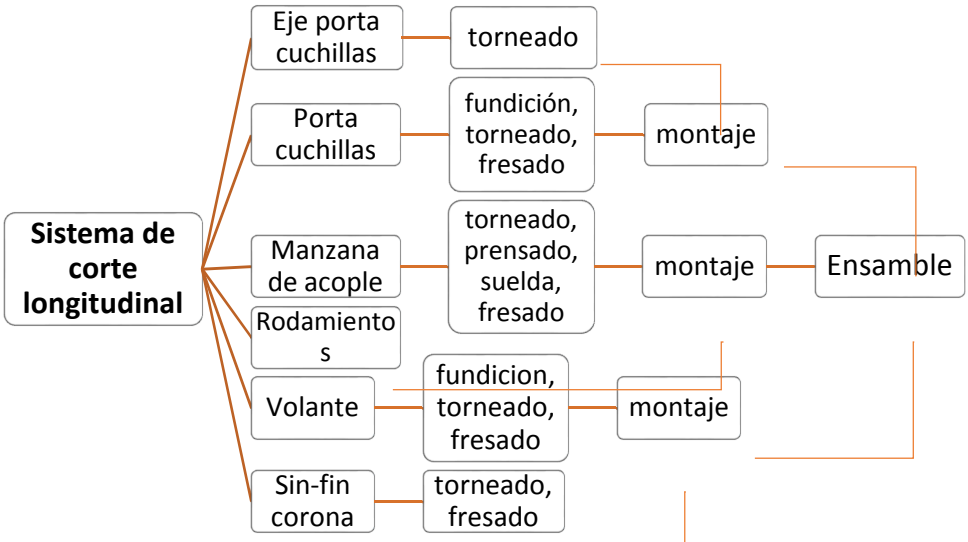


Figura 100. Diagrama del proceso de construcción.

Los porta cuchilla se tornean al diámetro del eje porta cuchilla y se instalan en dicho eje (Figura 101)

Figura 101. Disposición de porta cuchillas en el eje.

En el extremo del eje porta cuchillas se instala el sinfín-corona y el volante de movilidad para el corte longitudinal (Figura 102).

Figura 102. Sinfín – corona instalado.

5.3.5 Construcción del Sistema de corte transversal.

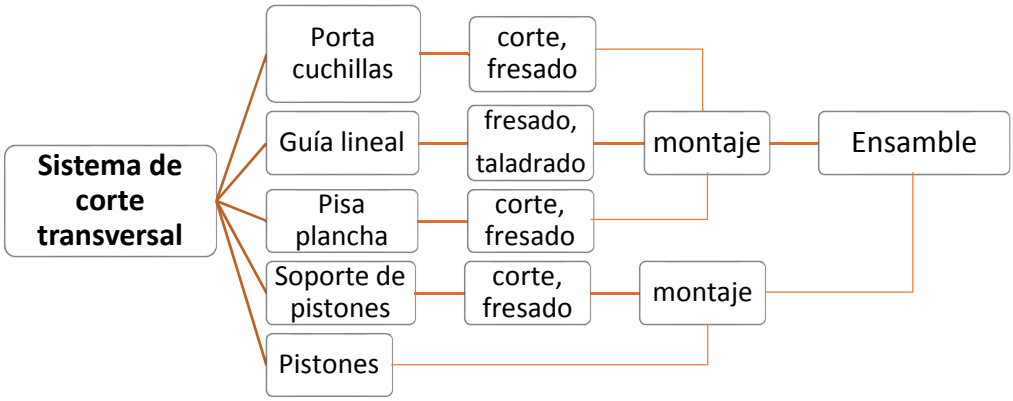


Figura 103. Diagrama del proceso de construcción.

Para la construcción de los pisa planchas de grilón se adquiere una plancha de dicho material el mismo que debe ser cortado a las medidas requeridas para las piezas. (Figura 104)

Figura 104. Cortado de la plancha de grilón

Luego, se procede a realizar el proceso de fresado para obtener la geometría y las dimensiones diseñadas (Figura 105).

Figura 105. Fresado del pisa plancha de grilón.

Se realiza el fijado del pisa plancha inferior y de la guía lineal de aluminio (Figura 106).

Figura 106. Fijado del pisa plancha y guía lineal

Los soportes para los pistones se fijan a la guía lineal de aluminio. (Figura 107)

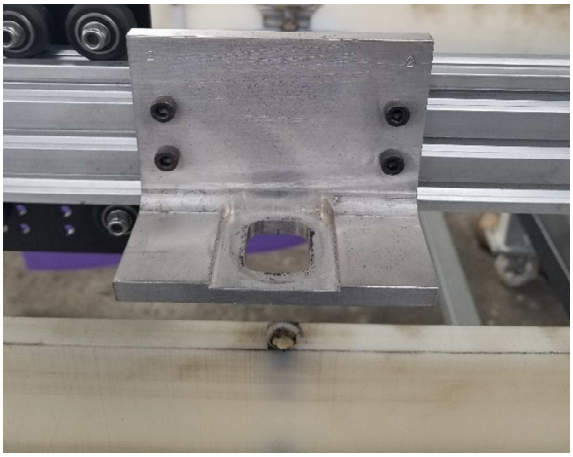


Figura 107. Fijado de los soportes de pistón.

Finalmente se ensamblan todos los componentes. (Figura 108)

Figura 108. Ensamble de todo el sistema.

- **Construcción de las placas laterales de soporte.**

Una vez definidos todos los sistemas que se van a fijar en estas placas se procede a realizar el trazado sobre la plancha negra de 10 mm de acuerdo a los planos establecidos (anexo4), para posterior a ello, mediante fresado y taladrado lograr obtener las medidas requeridas y realizar todos los agujeros para que se instalen los diferentes componentes. (Figura 109)

Figura 109. Taladrado de agujeros.

Se fijan las placas a los extremos de la estructura principal y se instalan todos los sistemas que en esta se apoyan. (Figura 110)

Figura 110. Instalación de las placas laterales de apoyo.

5.3.6 Construcción del sistema de arrastre de la lámina de PVC.

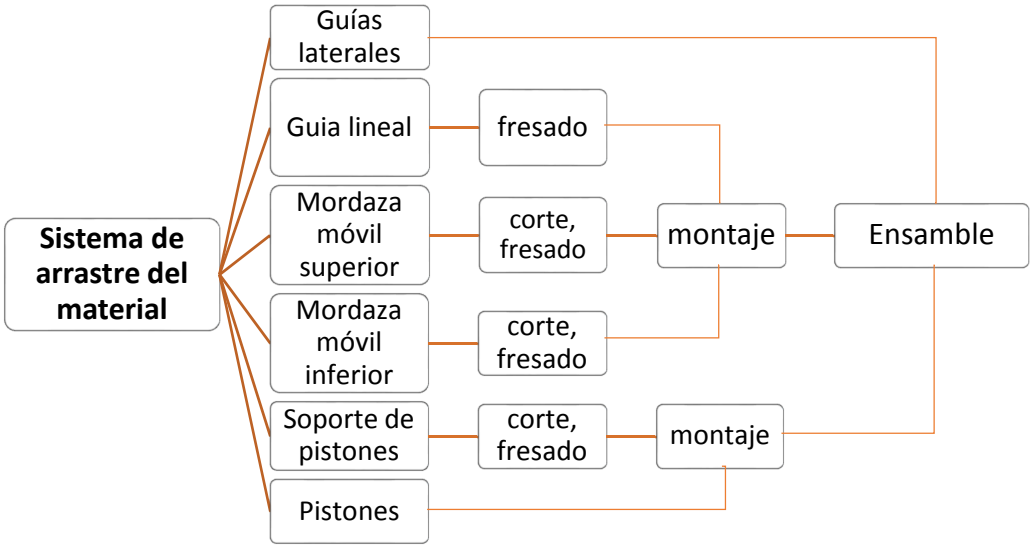


Figura 111. Diagrama del proceso de construcción.

Se fijan las guías laterales con el carro móvil a la estructura del dispositivo. (Figura 112)

Figura 112. Fijación de guías laterales

Al igual que el pisa plancha las mordazas se cortan de la plancha de grilón y luego se fresan de acuerdo a la geometría y dimensiones establecidas en el plano y se une a la guía lineal de aluminio mediante pernos, para lo cual se taladran una serie de agujeros a lo largo de la guía y se obtiene la rosca en dichos agujeros mediante machuelos normalizados M5. (Figura 113)

Figura 113. Obtención de agujeros roscados.

Se fija la mordaza inferior a la guía lineal móvil. (Figura 114)

Figura 114. Fijación de la mordaza inferior a la guía.

Se instalan los pistones a la mordaza superior y se fijan a la guía lineal para a continuación ser ensamblado en el dispositivo (Figura 115-116)

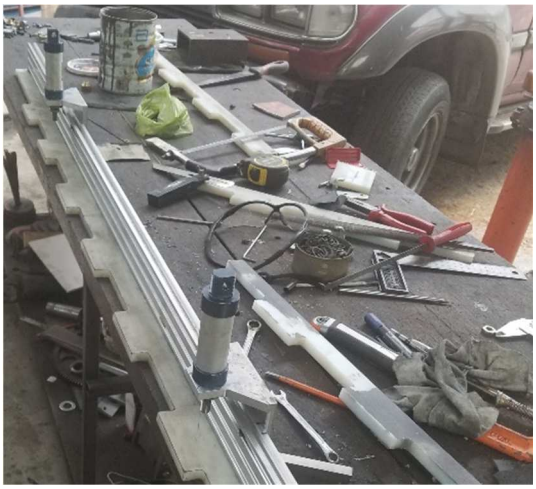


Figura 115. Fijación de los pistones a la mordaza superior.

Figura 116. Pisa plancha y mordaza móvil ensamblados en el dispositivo.

5.3.7 Construcción de la mesa móvil.

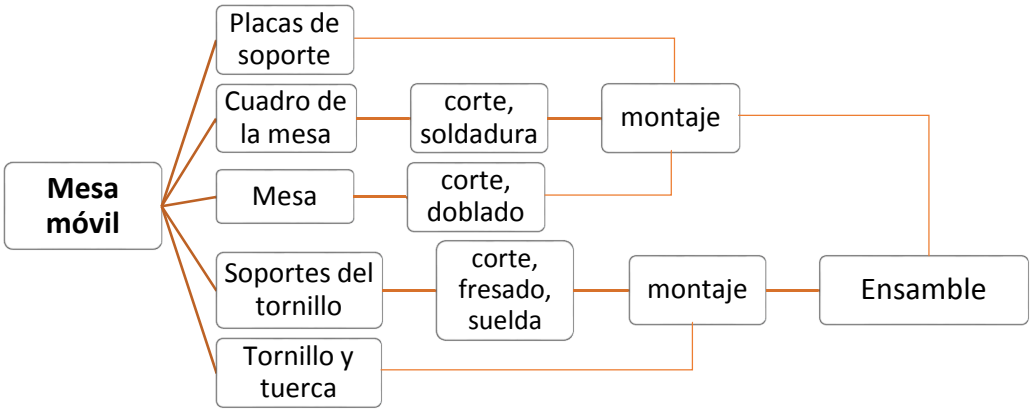


Figura 117. Diagrama del proceso de construcción.

Las placas que soportan y fijan los husillos de bolas a la estructura se trazan y cortan en plancha negra de 10 mm y se fresa de acuerdo a las dimensiones establecidas. (Figura 118)

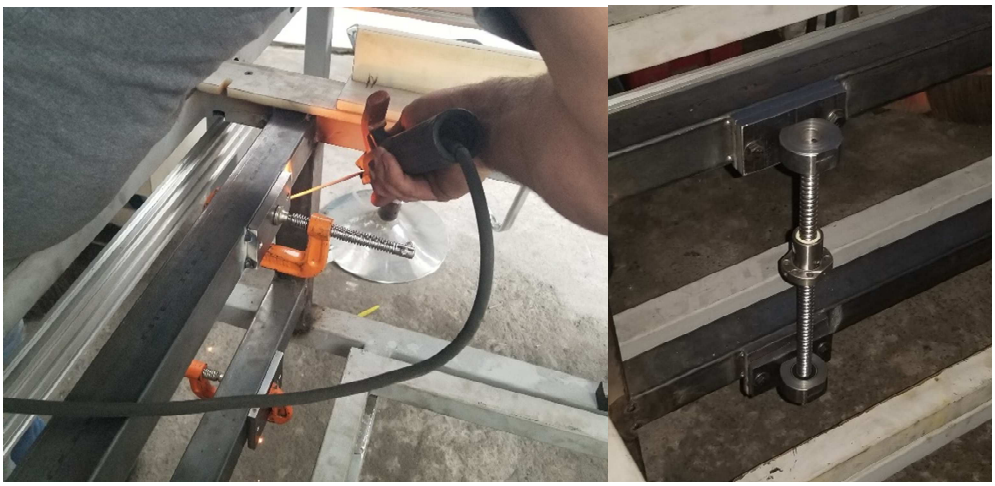


Figura 118. Soldado y fijación de los soportes del husillo de bolas.

Para las placas de soporte de la mesa de igual manera se realiza el trazado sobre plancha negra de 10 mm de espesor y se procede a cortar y luego fresar para obtener la geometría deseada. (Figura 119)

Figura 119. Corte de las placas de soporte de la mesa.

Una vez terminadas las placas de soporte se instalan en los husillos de bolas y se coloca sobre estas la estructura de la mesa móvil. (Figura 120)

Figura 120. Instalación de las placas de soporte de la mesa.

Finalmente, se ensamblan todos los componentes de la mesa móvil. (Figura 121)

Figura 121. Ensamblado final de la mesa móvil.

5.3.8 Construcción y montaje de la trasmisión de potencia al sistema de arrastre de la lámina de PVC.

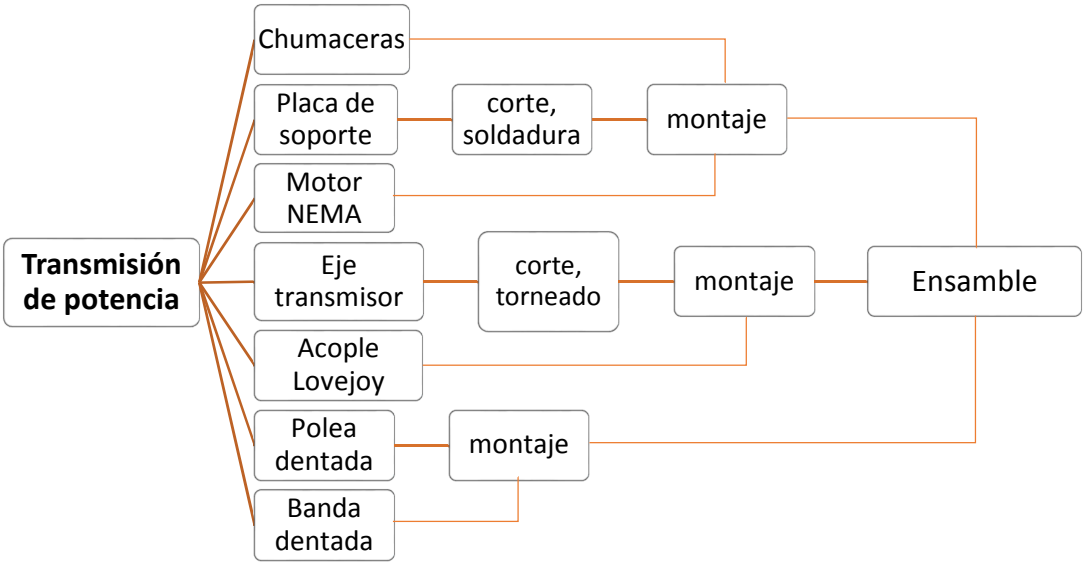


Figura 122. Diagrama del proceso de construcción

De igual manera la placa de soporte se traza sobre la plancha negra de 10 mm de espesor, se corta y se fresa para obtener la geometría deseada.

Una vez terminada la placa se ensambla en ella las chumaceras y el motor NEMA. (Figura 123)

Figura 123. Ensamble motor, chumaceras y eje.

En los extremos del eje conductor se fijan las poleas dentadas y se tensa la banda dentada uniéndola al carro móvil del perfil guía. (Figura 124)

Figura 124. Montaje de las poleas dentadas.

Finalmente se instala la banda dentada entre las poleas y se tensa de manera correcta para que no exista fallas en su funcionamiento. (Figura 125)

Figura 125. Montaje y tensado de la banda dentada.

- **Proceso de pintado y recubrimiento.**

Una vez concluida la etapa de construcción de los sistemas de la semiautomático se aplica una capa de pintura a la estructura soporte y a todos los componentes con el objetivo de protegerlos contra la corrosión y darle un mejor acabado al dispositivo. (Figura 126)

Figura 126. Componentes listos para el proceso de pintado.

Se le aplica cuidadosamente las capas de pintura a los componentes y luego de esto se vuelven a instalar todos los componentes y sistemas a la estructura soporte. A demás el dispositivo se recubre con tol de 1/16 pulg. de espesor para ocultar los mecanismos internos. (Figura 127)

Figura 127. Dispositivo semiautomático pintado y recubierto.

5.3.9 Implementación del sistema neumático

- Instalación de la unidad de mantenimiento FRL

La unidad de mantenimiento FRL sirve como filtro de aire comprimido, regulador de presión y lubricador de aire comprimido (Figura 128), de estas características dependerá la vida útil de los elementos neumáticos ya que las maquinas actuales que funcionan con aire requieren de un aire de excelente calidad, de lo contrario las impurezas presentes podrían causar daños a las partes internas. [44]

Figura 128. Unidad de mantenimiento

- Instalación de las electroválvulas

Las electroválvulas utilizadas en este dispositivo son las que activan o desactivan los cilindros neumáticos utilizados para el pisa plancha de corte y para sujetar el material mientras se extiende sobre la mesa.

Las electroválvulas se instalan en la parte posterior del tablero eléctrico. (Figura 129)

Figura 129. Instalación de electroválvulas.

- Instalación de actuadores neumáticos y conexiones.

La conexión entre los diferentes elementos neumáticos se realiza con manguera de poliuretano de 6 mm de diámetro y el uso de diferentes tipos de conectores. (Figura 130)

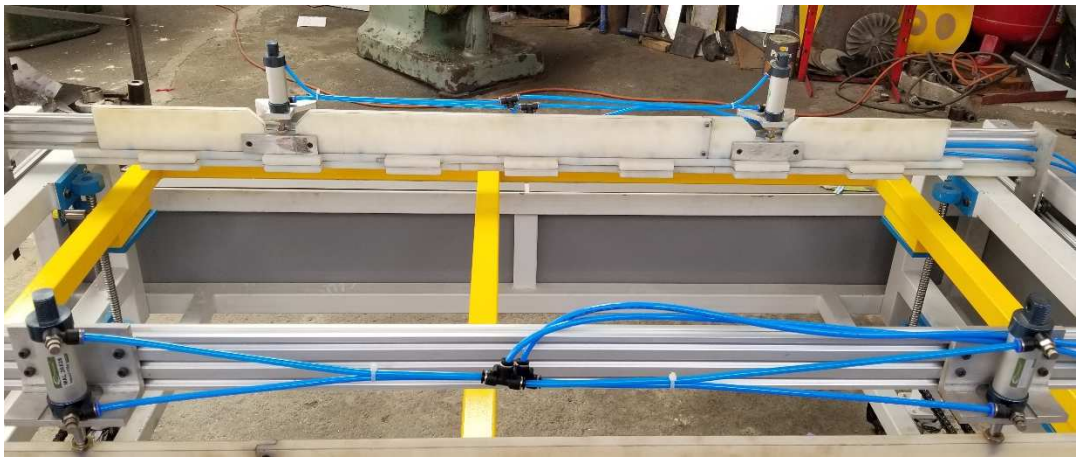


Figura 130. Conexión de los elementos neumáticos.

5.3.10 Implementación del sistema eléctrico.

- Montaje del tablero de mando.

Se adquiere un tablero metálico de 300 x 300 x 150 mm, al cual se le hacen los agujeros para instalar los elementos eléctricos como la pantalla táctil, el switch de encendido y apagado, el botón de emergencia y un buzzer de alarma. (Figura 131)

Figura 131. Construcción del tablero de mando.

El tablero se ubica al lado derecho de la estructura en un lugar en donde se pueda apreciar correctamente el funcionamiento de todos los sistemas del dispositivo y para una adecuada operación. (Figura 132-133)

Figura 132. Ubicación del tablero de mando.

Figura 133. Tablero de mando.

- Montaje del tablero eléctrico e instalación de los componentes.

Este tablero se ubica en la parte posterior del dispositivo semiautomático. En él se instalan los siguientes componentes eléctricos: (Figura 134)

- PLC
- Breakers
- Contactores
- Relés
- Borneras
- Servos drives
- Fuente 12V.

Figura 134. Tablero eléctrico.

A continuación, también se instalan también los 6 sensores inductivos en los respectivos lugares para obtener las señales que servirán para el correcto funcionamiento y automatización del dispositivo. (Figura 135)

Figura 135. Instalación de sensores inductivos.

Finalmente se realizan todas las conexiones eléctricas de los motores y sensores hacia los respectivos drivers y al PLC. (Figura 136-137-138)

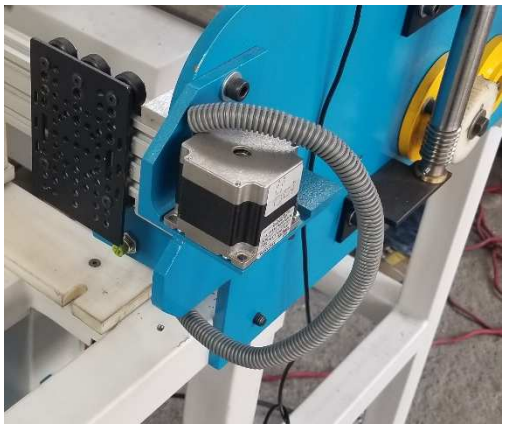


Figura 136. Conexión de los motores NEMA.

Figura 137. Conexión de los sensores.

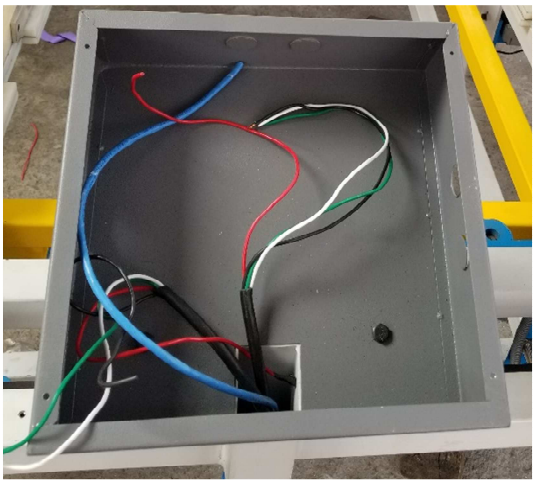


Figura 138. Cableado del panel de control.

Es importante mencionar que el operador de la máquina interactúa directamente con el PLC, debido a que los elementos del panel de mando se encuentran conectados físicamente a dicho dispositivo.

Para la conexión del PLC tenemos las entradas y salidas para cada uno de los elementos a cumplir cierta función como muestra la figura 139.

Figura 139. Cableado del panel de control.

Para la implementación del sistema HMI se utiliza un panel de control touch ya descrito anteriormente el cual permite una interfaz entre el operario y el dispositivo ya sea este en modo manual o modo automático como podemos observar en las siguientes pantallas.

La primera pantalla contiene el logo de la empresa donde se instalará el dispositivo además nos muestra los modos de operación del proceso a ejecutarse. (Figura. 140)

Figura 140. Pantalla inicial

En nuestra segunda pantalla se hace referencia al modo manual que está constituido por cada uno de los sistemas del dispositivo, donde el operario podrá manipular fácilmente ya sea este para calibración o para mantenimiento. (Figura 141)

Figura 141. Modo manual

En nuestra tercera pantalla que hace referencia al modo automático que está constituido por el ingreso del número de cortes y velocidad de funcionamiento, donde el operario tendrá que ingresar los datos para dar inicio al proceso. (Figura 142)

Figura 142. Modo automático

Diagrama funcional de la maquina

Para iniciar con la programación del PLC es necesario describir el diagrama funcional de la máquina el cual se muestra en la Figura. (143)

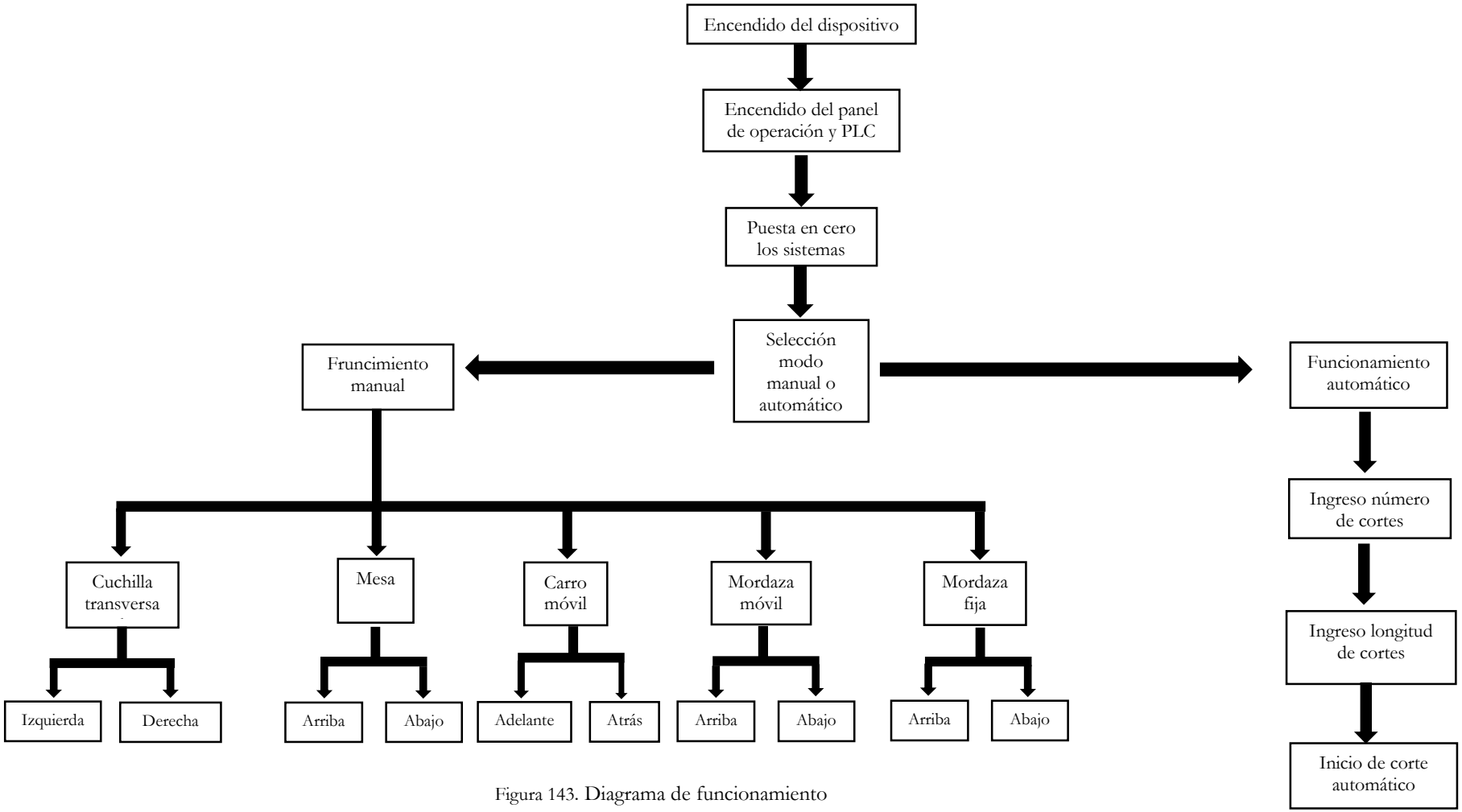


Figura 143. Diagrama de funcionamiento

5.4 Implementación y pruebas de funcionamiento.

Una vez finalizada con la fase de construcción y el ensamble de los sistemas mecánicos, neumático y eléctrico de la máquina, se realiza una evaluación de cada sistema, con el propósito de alcanzar un óptimo desempeño de la máquina, a continuación, se puede observar imágenes de cada una de las pruebas realizadas. (Figura 144-145-146)

Figura 144. Prueba de extendido del material

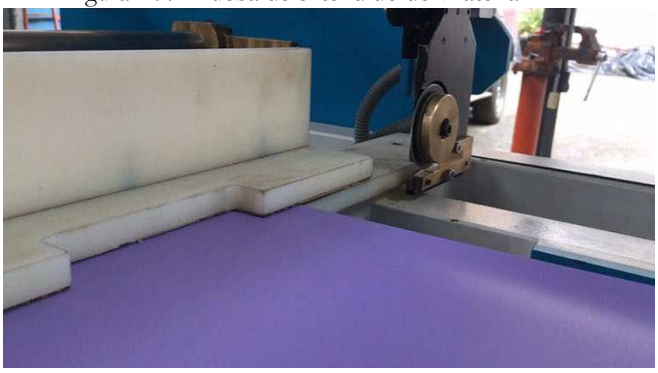


Figura 145. Sistema de corte transversal.

Figura 146. Prueba del corte transversal

5.5 Análisis técnico financiero.

El análisis técnico financiero significa una valoración de la inversión económica comparada con los beneficios que se obtendrán por la construcción y utilidad de la máquina semiautomática para evaluar si es conveniente la ejecución del proyecto.

Los resultados obtenidos del análisis técnico financiero son la base para determinar sobre si continuar o abandonar el proyecto, si hay riesgos de que no funcione, no tenga la rentabilidad deseada, o si comparado con los beneficios resulta demasiado caro.

El punto de partida es conocer el capital de inversión inicial, finalmente se obtiene una decisión con respecto a la viabilidad del proyecto.

- **Costo total de la maquina**

Representa el costo de investigación, materiales y equipos adquiridos además de la construcción, montaje y automatización. Para ello se desglosan los costos en cada sistema constitutivo de la máquina y se toman en cuenta también los costos adicionales.

- **Costos del sistema mecánico.**

Los costos generales correspondientes a la adquisición de materiales necesarios para la construcción del sistema mecánico se exponen en la Tabla 5

Tabla 7. Costo del sistema mecánico

Cant	Detalle	P/ unit	Total
	Materiales		
1	Costos del sistema de sujeción y desbobinado	123.85	**123.85**
1	Costos del sistema de frenado de la bobina.	436.52	**436.52**
1	Costos del sistema de guiado	583.65	**383.65**
1	Costos del sistema de corte longitudinal	360.85	**360.85**
1	Costos del sistema de corte transversal	73.25	**73.25**
1	Costos del sistema de mesa	480.74	**480.74**
1	Costos de la estructura principal de la máquina.	230.56	**230.56**
1	Costos adicionales	300.00	**200.00**
Subtotal			**2289.42**
Iva 12%			**274.73**
Total			**2564.15**

- **Costo del sistema eléctrico y de control.**

Los costos generados por la compra de equipos y materiales para el sistema eléctrico y de control se detallan en la Tabla 6.

Tabla 8. Costo del sistema eléctrico y de control

Cant	Detalle	P/ unit	Total
	Materiales		
4	Sensor inductivo 6-36vdc	16.28	**65.12**
1	Breaker riel abb 2p 40amp	14.51	**14.51**
1	PLC SIMATIC S7-1200	770.00	**770.00**
1	SIMATIC HMI KP 400	750.00	**750.00**
1	Fuente 24v	165.75	**165.75**
1	Motor de pasos nema 17 + drivers	106.25	**106.25**
3	Relés 11 pines CAMSCO	5.19	**15.57**
3	Bases 11 pines CAMSCO	2.20	**6.60**
2	Riel dim	2.47	**4.94**
2	Canaleta ranurada 40x40	6.83	**13.66**
30	Bornera para riel 20a	0.30	**9.00**
100	Cale flexible 18	0.16	**16.00**
30	Cale flexible 14	0.30	**9.00**
10	Prensa estopa pg11	0.37	**3.70**
30	Cable concéntrico 4x18	0.75	**22.50**
2	Pulsante retenido emergencia	2.58	**5.16**
1	Selector 2 posc. CAMSCO	1.83	**1.83**
1	Contactor ls mc-22b	28.08	**28.08**
2	Pulsantes verde CAMSCO	1.65	**3.30**
2	Luz piloto verde CAMSCO	1.70	**3.40**
1	Buzzer rojo 22mm	5.11	**5.11**
1	Caja CAMSCO 2 compartimientos	2.19	**2.19**
1	Extras de instalación	85.00	**85.00**
Subtotal			**2106.66**
Iva 12%			**252.799**
Total			**2359.46**

- **Costo del sistema neumático.**

Los costos de adquisición de elementos de: trabajo, maniobra, procesamiento, entrada y alimentación para la implementación del sistema neumático se muestran en la Tabla 7

Tabla 9. Costo del sistema neumático

Cant	Detalle	P/ unit	Total
	Materiales		
2	Electroválvulas 5-2 110 V	23.00	**46.00**
2	Silenciador plano 1/8	1.25	**2.50**
4	Unión T 6 mm	1.00	**4.00**
2	Unión T 10 mm	1.75	**3.50**
4	Pistón MAL 25x25	25.00	**100.00**
1	Filtro regulador ¼ 50 micras	66.00	**66.00**
8	Regulador 1/8	4.00	**32.00**
2	Racor ¼ x 10 mm	1.65	**3.30**
20	Cañería 6 mm	0.80	**16.00**
1	Cañería 10 mm	1.70	**1.70**
Subtotal			**275.00**
Iva 12%			**33.00**
Total			**308.00**

- **Inversión inicial.**

El costo total generado por la adquisición de materiales y equipos para la implementación del dispositivo semiautomático se representa en la Tabla 8.

Tabla 10. Costo de materiales y equipos.

Cant	Detalle	P/ unit	Total
1	Sistema mecánico	2564.15	**2564.15**
1	Sistema eléctrico y de control	2359.46	**2359.46**
1	Sistema neumático	308.00	**308.00**
TOTAL			**5231.61**

Conjuntamente con los costos debidos a la adquisición de equipos y materiales también se considera el valor de la mano de obra directa desglosada en la Tabla 9

Tabla 11. Costo total mano de obra directa

Cant	Detalle	P/ unit	Total
1	Mecanizado, construcción y montaje del sistema mecánico	1200.00	**1200.00**
1	Pintura	95.00	**95.00**
1	Automatización de la maquina	900.00	**900.00**
TOTAL			**2195.00**

Finalmente, la Tabla 10 representa la inversión inicial necesaria para el desarrollo del dispositivo.

Tabla 12. Costo total del dispositivo semiautomático.

Cant	Detalle	P/ unit	Total
1	Materiales Directos	5231.61	**5231.61**
1	Mano de obra directa	2195,00	**2195,00**
1	Costos Indirectos	100,00	**100,00**
TOTAL (Inversión)			**7526.61**

Por lo tanto, según el resultado de la Tabla10 se necesita una inversión inicial de 7526,61 dólares americanos para el diseño, la construcción e implementación del dispositivo semiautomático para el corte de bobinas de plástico (PVC) en la empresa Ariplast.

- **Flujo de caja.**

Para elaborar el flujo de caja, se realiza con una proyección estimada para 5 años y se consideran los datos de la Tabla 10.

En la Tabla 11 se muestra la proyección de la inversión de un año para el dispositivo semiautomático, teniendo en cuenta materia prima (Materiales directos), el pago a trabajadores y otros costos indirectos.

Tabla 13. Inversión a 1 año del dispositivo.

Item	Detalle	V.total
1	Materiales Directos	**20.000**
1	Mano de obra directa	**4800**
1	Costos indirectos	**400**
TOTAL (Inversión a 1 año)		**24800,00**

Para obtener los flujos de caja en el proyecto se toman los siguientes lineamientos:

- La proyección de ventas para el primer año en la división de corte y sellado considerando datos históricos de los 3 últimos años de la empresa se prevé será de 28000,00.

Tabla 14. Datos históricos de Ventas

Año	VENTAS ($)
2016	**20000,00**
2017	**23000,00**
2018	**28000,00**

- Para los años siguientes se estima un incremento del 2% en la inversión.
- El propósito en la empresa es incrementar un 10% anualmente en ventas.

Por lo tanto, de acuerdo con las consideraciones anteriores, se proyecta el flujo de caja de la Tabla 13.

Tabla 15. Flujo de caja

Detalle	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
Inversión	7526,61	24800,00	25296,00	25801,92	26317,958	26844,318
Ventas		28000,00	30800,00	33880,00	37268,00	40994,80
Flujo de Caja	-7526,61	3200,00	5504,00	8078,08	10950,042	14150,482

Conforme al flujo de caja realizado de la tabla 13 se valora que la inversión inicial para el proyecto por un valor de $7526.61, la empresa Ariplast lo recuperará en un tiempo aproximado de 2 años, lo que es satisfactorio para la empresa y motiva a la automatización de más procesos dentro de esta línea de producción.

6 RESULTADOS

Luego de realizar la encuesta verbal y el respectivo diagnóstico, se determina que existe desperdicio de materia prima ya que el corte no es preciso, además se pueden presentar lesiones en el operario que pueden repercutir en daños permanentes en la salud y una posible demanda laboral.

Con la información recopilada tanto de los procesos productivos de la empresa como de los operadores, se levantan los requerimientos y exigencias que debe cumplir la máquina, en este caso se considerarían restricciones del diseño las siguientes:

- Las dimensiones de la máquina deben estar acorde a las dimensiones estandarizadas de las bobinas de materia prima
- La máquina debe ser fácil de operar
- Los componentes y sistemas que componen el dispositivo deben poderse construir con la tecnología local; los elementos normalizados y diferentes materiales se deben conseguir con facilidad en el mercado local.
- Los sistemas de la máquina deben ser de fácil mantenimiento
- El dispositivo debe ser estético y ergonómico
- El operador debe intervenir únicamente para cargar la materia prima y para retirar el producto terminado, es decir el proceso debe ser semiautomático.
- La productividad del equipo debe considerar la producción actual y su índice de crecimiento
- El costo del equipo debe ser competitivo en el mercado local e internacional.

El estudio del estado del arte determina que existen maquinas que realizan el corte de bobinas de plástico, que mantienen diversidad de sistemas para cada proceso, y que los costos de importación y adquisición son elevados.

El proceso de diseño virtual utilizando software de ingeniería permite garantizar el dimensionado y la selección de los componentes del equipo para definir la funcionalidad del mismo antes de ejecutar su construcción, aunque durante la fase constructiva se realizan ciertas modificaciones en función de los materiales existentes en el mercado, de los procesos de fabricación y de los elementos normalizados existentes.

En la etapa de diseño de la estructura soporte de los sistemas y componentes se realiza un cálculo computacional de dicha estructura considerando todas las cargas que sobre esta actúan. Se realiza este análisis computaciones mediante el software Inventor. (Figura 147)

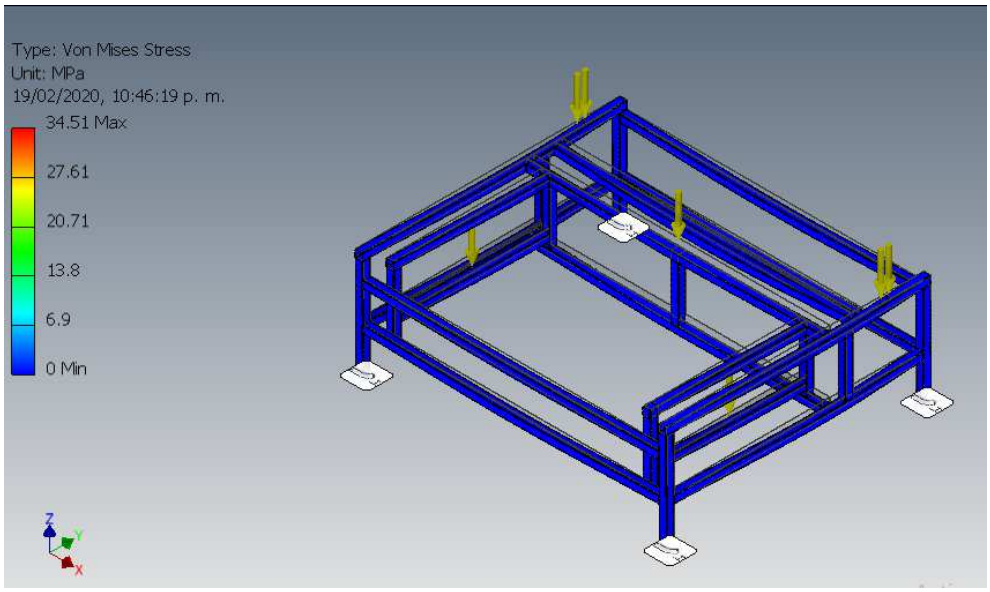


Figura 147. Análisis computacional de la estructura

Analíticamente se obtuvo un esfuerzo máximo de $\sigma_{max} = 33.22\ Mpa$ y con el análisis computacional se obtiene un $\sigma_{max} = 34.51\ Mpa$, lo que garantiza un correcto diseño de la estructura ya que solo existe un error porcentual de 3.74%.

En la construcción del dispositivo se utilizan varios procesos convencionales además de dos procesos especiales que son el corte plasma CNC para la obtención de las placas laterales y corte laser para la fabricación de moldes en MDF para obtener piezas mediante fundición tanto en hierro, bronce y aluminio con resultados óptimos ya que los elementos cumplieron satisfactoriamente con las prestaciones solicitadas.

Se construye en sistema de sujeción y desbobinado que consta de un eje para soportar la bobina de material y un freno de tambor para eliminar la inercia que se produce al momento

de extender el material sobre la mesa de trabajo. Mediante cálculo se determinó que debido al largo de eje porta bobina este debe ser de diámetro 36,3 mm pero se optó por utilizar un eje normalizado de diámetro 38.1 mm por ser una medida más comercial y de fácil adquisición en el medio. Para eliminar la inercia de la bobina de material y por ende lograr el frenado del mismo se determina que el resorte que aplica la fuerza en el sistema de frenado de tambor y disco debe tener las siguientes dimensiones: L_o=70mm, $D_{externo}$=74mm, $D_{interno}$=67mm, $D_{alambre}$=7mm, espiras activas=5, espiras totales=7.

El material es guiado y alineado hasta la zona de corte transversal por un rodillo el mismo que se diseña de un diámetro de 50mm, por lo que se selecciona el rodamiento a partir de este diámetro.

Para la transmisión de potencia del mecanismo que extiende el material mediante mordazas móviles, las mismas que son construidas de grilón por su peso liviano y facilidad de maquinar, se utiliza una transmisión mediante banda y polea dentada ya que es un sistema de precisión y de velocidad que resulta óptimo para este caso. El mismo va acoplado a un motor de pasos Nema 23 que garantiza el adecuado movimiento de todos los componentes.

La mesa de trabajo donde se almacenan las láminas cortadas tiene un desplazamiento en el eje z mediante husillos de bolas, para un correcto apilamiento de las láminas.

En el diseño de la placa lateral se determina mediante cálculo que el espesor de pared necesario es de 5.47mm, pero se opta por sobredimensionarlo y construirla de placa de 10mm para garantizar su funcionalidad. Para fijar las placas diseñadas se hace uso de pernos que mediante cálculo se determinó que deben ser de diámetro 3.85mm, por lo que se selecciona pernos normalizados M10 debido a su facilidad de adquisición en el medio.

Para el funcionamiento de los sistemas de pisa plancha y mordaza móvil se determina mediante cálculo que el actuador neumático que garantiza el correcto funcionamiento debe ser de diámetro de cilindro igual a 11.2 mm pero debido a que un actuador de esas características no se lo encuentra en el mercado local se seleccionó uno de 20mm disponible en el medio.

Al momento de realizar las pruebas de funcionamiento se tuvo que corregir la sujeción del material al realizar el corte transversal, ya que una vez cortado tendía a caerse en las zonas donde existe vacíos del pisa plancha y esto no permitía un ingreso adecuado de la mordaza móvil. Para ello se construye soportes en acrílico de 3mm mediante corte laser, los mismo que funcionan mediante un sistema de retorno por resortes para permitir el ingreso de la mordaza y una correcta sujeción del material. (Figura 148)

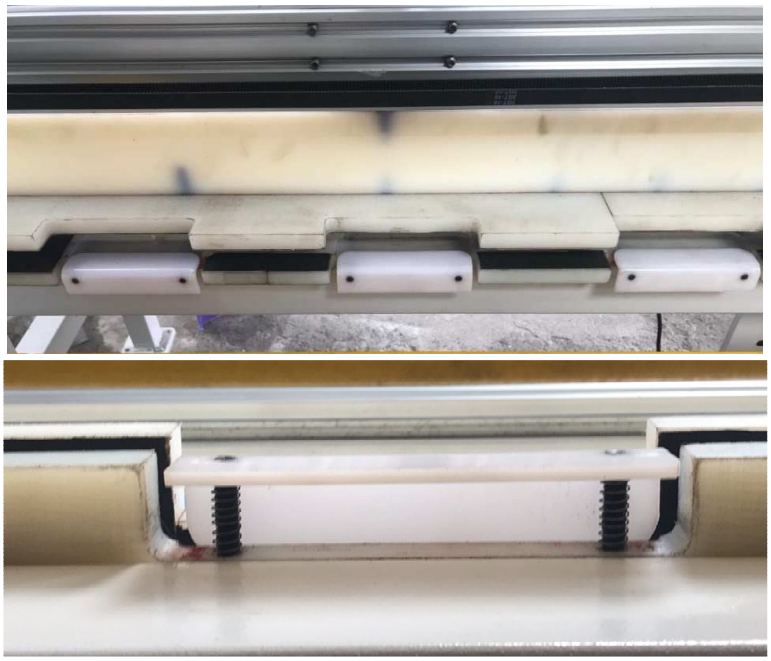


Figura 148. Sistema de retorno por resorte.

Además, el sistema de transmisión de potencia a los husillos de la mesa de trabajo se tuvo que rediseñar ya que se lo estaba realizando con dos motores Nema 17, uno a cada lado de la mesa (figura 149) pero se presentaba problemas en el momento que uno de ellos perdía su secuencia, por lo que se decide unir los 4 husillos de bolas por medio de una cadena general a un solo servomotor para evitar esos saltos de secuencia y obtener un movimiento uniforme y suave de la mesa de trabajo.

Figura 149. Sistema de trasmisión de la mesa de trabajo

7 CONCLUSIONES

La máquina desarrollada automatiza y mejora la operación de corte de bobinas de plástico (PVC) en la empresa ARIPLAST ya que se consideraron para el proceso de diseño y construcción los requerimientos operacionales tales como el crecimiento de la producción, la posibilidad de lesiones del operario, la ergonomía y estética del dispositivo.

Con un trabajo de campo mediante una encuesta verbal echa al operario y gerente de la empresa se hizo un diagnóstico de la situación actual del proceso de corte, se determinó que existe gran desperdicio de material por el corte manual inexacto, además de afectaciones a la salud e integridad física del operario. Así mismo mediante un estudio del estado del arte se analizó diferentes dispositivos desarrollados alrededor de la ciencia los mismos que permitieron seleccionar la alternativa más adecuada para cada sistema del dispositivo.

El diseño de la máquina se garantiza considerando las condiciones, parámetros y restricciones establecidas. Mediante el modelado a través de software de ingeniería se garantizó el correcto diseño y funcionamiento de los sistemas haciendo modificaciones antes de construir los componentes para garantizar su funcionalidad y su rendimiento óptimo.

Es posible la construcción de todos los componentes y sistemas de la máquina semiautomática haciendo uso de los procesos convencionales y especiales de manufactura disponibles en el medio y materiales de alta calidad existentes en el mercado nacional.

El equipo es ergonómico y de fácil mantenimiento, esto se pudo determinar a través de las diferentes pruebas de funcionamiento realizadas.

Mediante un análisis técnico financiero se establece que el valor total de la máquina semiautomática es de $7526.61 (siete mil quinientos veinte y seis dólares con sesenta y un centavos). Se determinó que esta inversión será recuperable aproximadamente en 2 años, lo cual es un indicador satisfactorio para la empresa y promueve a seguir con la automatización de más procesos dentro de esta línea de producción, además en comparación con los costos de otros dispositivos de importación existentes resulta factible y competitivo el desarrollo de la máquina.

8 RECOMENDACIONES

Al momento del ensamble de todos los elementos de la máquina hay que tener cuidado en el sistema de frenado, el montaje de los rodamientos que sea el adecuado, además de los sensores y actuadores ya que esto garantiza el control del dispositivo.

Se recomienda que la persona encargada de operar la maquina tenga una capacitación, ya que se estableció una Interface Hombre Máquina (HMI) para establecer el dialogo entre el operador y el proceso, lo que proporciona una representación visual del sistema de control y permite una adquisición de datos en tiempo real.

Es necesario realizar una limpieza de los elementos por lo menos una vez por semana, ya que el ambiente de trabajo genera polvo, lo que repercutiría que los carros longitudinal y transversal no tengan un correcto desplazamiento.

Hacer una verificación y búsqueda de nuevos materiales óptimos para cada sistema que se puedan implementar en futuros dispositivos de corte para láminas de PVC, con el fin de poder reducir el costo de fabricación.

BIBLIOGRAFIA

[1] «Serkon MN1 Mini Master, Fully Automatic Fabric Spreading Machine» [En línea]. Available: https://natex.com.ro/product/serkon-mn1-mini-master-masina-de-spanuit-automata/ [Último acceso: 02 feb 2020].

[2] «Fatiga muscular: Por qué aparece y como evitarla» [En línea]. Available: https://escueladerunning.com/fatiga-muscular/. [Último acceso: 01 feb 2020].

[3] «Roll Slitter slitTEC 700» [En línea]. Available: Fuente: https://www.directindustry.es/prod/starlinger-co/product-70117-560100.html [Último acceso: 02 feb 2020].

[4] «Roll Slitter slitTEC 700» [En línea]. Available: https://www.starlinger.com/fileadmin/user_upload/01_Packaging/07_Finishing_Touches/slitTEC/FB_en/2/index.htmlg [Último acceso: 02 feb 2020].

[5] «Roll Slitter slitTEC 700» [En línea]. Available: https://www.starlinger.com/fileadmin/_processed_/4/6/csm_slit-TEC-051_f84abb0308.jpg [Último acceso: 02 feb 2020].

[6] «Roll Slitter slitTEC 700» [En línea]. Available: https://www.starlinger.com/fileadmin/_processed_/b/1/csm_slit-TEC-058_1bb7f6c014.jpg [Último acceso: 02 feb 2020].

[7] «Roll Slitter slitTEC 700» [En línea]. Available: https://www.starlinger.com/fileadmin/_processed_/c/a/csm_slit-TEC-131_b681066b83.jpg [Último acceso: 02 feb 2020].

[8] «Easy-Slit 1300» [En línea]. Available: http://www.interempresas.net/Graficas/FeriaVirtual/Producto-Cortadora-rebobinadora-Easy-Slit-1300-26784.html [Último acceso: 02 feb 2020].

[9] «Fabric Spreading Machine» [En línea]. Available: https://natex.com.ro/wp-content/uploads/2017/04/Masini-de-spanuit-material-pag-24681012141618.pdf [Último acceso: 02 feb 2020].

[10] «Serkon MN1 Mini Master, máquina de hilar automática» [En línea]. Available: https://natex.com.ro/product/serkon-mn1-mini-master-masina-de-spanuit-automata/ [Último acceso: 02 feb 2020].

[11] «Mesa de corte con spreader manual CUTMaster 180» [En línea]. Available: https://www.samex.com.pl/en/p/cutting-table-with-manual-spreader-cutmaster-180/4848 [Último acceso: 02 feb 2020].

[12] «Mesa de corte con spreader manual CUTMaster 180» [En línea]. Available: https://www.samex.com.pl/img/wielkie/4848_1.png [Último acceso: 02 feb 2020].

[13] G. García, «Una teoría general de análisis en el diseño de elementos de máquinas» Ingeniería e Investigación, vol. 3, pp. 31-42, 1985.

[14] «Factores de Seguridad en Diseño de Máquinas» [En línea]. Available: https://es.scribd.com/document/365703854/Factores-de-Seguridad-en-Diseno-de-Maquinas [Último acceso: 02 feb 2020].

[15] J. E. López, M. A. Santo, «Diseño y construcción de una máquina de corte longitudinal y transversal de láminas de plástico PVC con un sistema HMI para la industria plástica Brother's.» Universidad de las fuerzas armadas, 2014.

[16] «Frenos de banda» [En línea]. Available: http://sistemasdefreno.blogspot.com/2015/06/frenos-de-banda.html. [Último acceso: 02 feb 2020].

[17] «Sistemas de frenos y sus diferentes tipos» [En línea]. Available: https://sites.google.com/site/sistemadefrenos29/diferentes-tipos-de-frenos. [Último acceso: 02 feb 2020].

[18] «Embragues, frenos, y volantes de inercia» [En línea]. Available: https://www.academia.utp.ac.pa/sites/default/files/docente/72/clase_8_embragues_frenos_y_volantes_de_inercia.pdf. [Último acceso: 02 feb 2020].

[19] Nash, Frederick C. (1980). Fundamentos de mecánica automotriz (12 ed.). México: Editorial Diana. pp. 91 y 92.

[20] «Sistema de frenos» [En línea]. Available: http://www.aficionadosalamecanica.net/frenos-3.htm. [Último acceso: 02 feb 2020].

[21] Anónimo, «Sistema de Poleas y Correas» [En línea]. Available: http://almez.pntic.mec.es/jgonza86/Sistemas%20de%20poleas%20y%20correas.htm#mecanismo [Último acceso: 02 feb 2020].

[22] «Mecanismos». [En línea]. Available: http://www.tecnerife.com/mecanismos/mecanismos_teoria.html. [Último acceso: 02 feb 2020].

[23] Mott, R. L. (2006). Diseño de elementos de máquinas (4 ed.). México: Pearson Educación.

[24] «Actuadores». [En línea]. Available: http://www.aie.cl/files/file/comites/ca/abc/actuadores.pdf. [Último acceso: 02 feb 2020].

[25] «Actuadores neumáticos». [En línea]. Available: http://enriquezdiego.blogspot.com/2011/1 2/actuadores-neumaticos.html. [Último acceso: 02 feb 2020].

[26] «Cilindro de doble efecto + 2 Racores». [En línea]. Available: https://www.microlog.com/neumatica/206-cilindro-de-doble-efecto-2-racores.html. [Último acceso: 02 feb 2020].

[27] «Servo motores brushless de iman permanente». [En línea]. Available: https://es.scribd.com/doc/162499495/Servomotores-Brushless-de-Iman-Permanente. [Último acceso: 02 feb 2020].

[28] «Motor paso a paso ¿qué es y cómo funciona?». [En línea]. Available: http://www.ingmecafenix.com/electricidad-industrial/motor-paso-a-paso/. [Último acceso: 02 feb 2020].

[29] «Lesiones y enfermedades de la columna vertebral». [En línea]. Available: https://medlineplus.gov/spanish/spineinjuriesanddisorders.html. [Último acceso: 02 feb 2020].

[30] «Lumbalgia, una enfermedad laboral común». [En línea]. Available: http://www.eluniversal.com.co/cartagena/vida-sana/lumbalgia-una-enfermedad-laboral-comun-28555. [Último acceso: 02 feb 2020].

[31] «Hernia Discal». [En línea]. Available: https://medlineplus.gov/spanish/ency/article/000442.htm. [Último acceso: 02 feb 2020].

[32] «Lesiones por esfuerzo repetitivo». [En línea]. Available: https://www.bupasalud.com/salud-bienestar/vida-bupa/lesiones-por-esfuerzo-repetitivo-ler. [Último acceso: 02 feb 2020].

[33] Velasco Sánchez J. (2014). Organización de la producción (3 ed.). Madrid: Ediciones Pirámide.

[34] «Qué es la ergonomía en el trabajo y qué objetivos vitales persigue». [En línea]. Available: https://www.kaleidoconsultoria.com/blog/que-es-la-ergonomia-en-el-trabajo-y-que-objetivos-vitales-persigue. [Último acceso: 02 feb 2020].

[35] R. Mott, Resistencia de Materiales Aplicada, Pearson.

[36] «Plancha de Acero Carbono». [En línea]. Available: http://www.acerosotero.cl/planchas_acero_carbono_astm_a36.html. [Último acceso: 02 feb 2020].

[37] «Eje AISI 1018 transmisión». [En línea]. Available: http://www.dipacmanta.com/ejes/ejes-aisi-1018/aisi-1018-transmision. [Último acceso: 02 feb 2020].

[38] «Catálogo de rodamientos» [En línea] Available: https://www.skf.com/ar/products/bearings-units-housings/ball-bearings/deep-groove-ball-bearings/deep-groove-ball-bearings/index.html?designation=6006. [Último acceso: 02 feb 2020].

[39] «Fundición de hierro gris» [En línea] Available: https://www.slideshare.net/greciaalvarez56/fundicin-de-hierro-gris. [Último acceso: 02 feb 2020].

[40] R. G. Budynas y J. K. Nisbett, «Diseño en ingeniería mecánica,» Mexico D. F., McGraw-Hill, 2008, pp. 499-548.

[41] «Catálogo de rodamientos» [En línea] Available: https://www.skf.com/cl/products/bearings-units-housings/ball-bearings/angular-contact-ball-bearings/double-row-angular-contact-ball-bearings/double-row/index.html?designation=3204%20ATN9. [Último acceso: 02 feb 2020].

[42] «Cálculo de Tornillo Sin Fin y su Rueda» [En línea] Available: https://www.metalmecanica-facil.mahtg.com/calculo-de-tornillo-sin-fin-y-su-rueda/. [Último acceso: 02 feb 2020].

[43] «Husillos de bolas laminados de precisión» [En línea] Available: https://www.skf.com/binary/96-149715/Precision-rolled-ball-screws---6971_1-ES.pdf. [Último acceso: 02 feb 2020].

[44] «Unidades de mantenimiento FRL» [En línea]. Available: http://www.hnsa.com.co/unidades-de-mantenimiento-frl/. [Último acceso: 01 feb 2020].

[45] «BÖHLER K110» [En línea]. Available: https://www.acerosbohler.com/es/products/k110/. [Último acceso: 02 feb 2020].

[46] «Tamaños De Bastidor Del Motor Nema Y Lo Que Significan» [En línea]. Available: https://www.zikodrive.com/es/ufaqs/nema-motor-marco-tamanos-media/. [Último acceso: 04 feb 2020].

[47] «Actuadores neumaticos» [En línea]. Available: https://www.asconumatics.eu/images/site/upload/_es/actuadores-neumaticos-es.pdf. [Último acceso: 04 feb 2020].

[48] «Sensor interruptor de proximidad inductivo 6-36 VDC PNP» [En línea]. Available: https://cablematic.com/es/productos/sensor-interruptor-de-proximidad-inductivo-6-36-vdc-pnp-no-m17-sn8mm-TZ023/. [Último acceso: 05 feb 2020].

[49] «PLC XINJE XCE 32T E» [En línea]. Available: https://industrialesandes.co/inicio/7-plc-xinje-xc3-32t-e.html#. [Último acceso: 08 feb 2020].

[50] «CHINA YUMO ELECTRIC CO., LIMITED» [En línea]. Available: https://es.made-in-china.com/co_yncync/product_Th465-Mt-for-Xinje-4-3-Inch-Touch-Screen-HMI-Operator_rinisgnsg.html. [Último acceso: 08 feb 2020].

[51] «Sistema de motores paso a paso» [En línea]. Available: https://cdn.automationdirect.com/static/manuals/surestepmanualsp/surestepmanualsp.pdf. [Último acceso: 08 feb 2020].

ANEXOS

- **Anexo 1**

Ficha técnica ASTM A36

Planchas de Acero Carbono

ASTM A36

Estado de Suministro

Laminado.

Tolerancia

ASTM A6.

Características

Acero estructural de buena soldabilidad, adecuado para la fabricación de vigas soldadas para edificios, estructuras remachadas, y atornilladas, bases de columnas, piezas para puentes y depósitos de combustibles.

Aplicaciones

Construcción de puentes, estanques, estructuras para industrias, edificios, torres y aplicaciones estructurales en general.

Composición Química (Valores Típicos)

%C	%Mn	%Si	%P	%S
≤ 0,26	0,80 -1,20	≤ 0,40	≤ 0,04	≤ 0,05

Propiedades Mecánicas

Esfuerzo Fluencia		Esfuerzo Tracción (Kg/mm²)		Elongación
(Kg/mm²)	MPa	(Kg/mm²)	MPa	%
25,5 (mín)	250 (mín.)	40,8 (mín)	400 (mín.)	20 (mín.)

Mínimo Radio Interior de Plegado en Frío

Espesor E (mm.)		
Hasta 20 mm. (Incl.)	Sobre 20 mm. hasta 25 mm. (Incl.)	Sobre 25 mm. hasta 50 mm. (Incl.)
1,5 X E	1,5 X E	1,5 X E

- **Anexo 2**

Dimensiones comerciales de ejes

COMPOSICIÓN QUÍMICA				
%C	%Si	%Mn	%P	%S
0 – 0,20	0 – 0,25	0 – 0,70	0 – 0,04	0 – 05

PROPIEDADES MECÁNICAS			
RESISTENCIA MECÁNICA (N/mm^2)	PUNTO DE FLUENCIA (N/mm^2)	Elongación % Min.	DUREZA ROCKWELL B
410 - 520	235	20	143

DIMENSIONES
DIÁMETRO
3/8"
1/4"
5/8"
3/4"
7/8"
1"
1-1/4"
1-1/2"
1-3/4"
2"
2-1/4"
2-1/2"
2-3/4"
3"
3-1/2"
4"
4-1/2"
5"
6"

- **Anexo 3**

Fórmulas para cálculos de resortes

Tabla 10-1

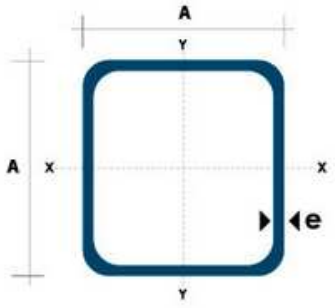
Fórmulas para calcular las dimensiones de resortes de compresión. (N_a = Número de espiras activas)

(Fuente: De Design Handbook, 1987, p. 32. Cortesía de Associated Spring.)

	Tipo de extremos de resortes			
Término	**Plano**	**Plano y esmerilado**	**A escuadra y cerrado**	**A escuadra y esmerilado**
Espiras de extremo, N_e	0	1	2	2
Espiras totales, N_t	N_a	$N_a + 1$	$N_a + 2$	$N_a + 2$
Longitud libre, L_0	$pN_a + d$	$p(N_a + 1)$	$pN_a + 3d$	$pN_a + 2d$
Longitud sólida, L_s	$d(N_t + 1)$	dN_t	$d(N_t + 1)$	dN_t
Paso, p	$(L_0 - d)/N_a$	$L_0/(N_a + 1)$	$(L_0 - 3d)/N_a$	$(L_0 - 2d)/N_a$

- **Anexo 4**

Catalogo perfiles rectangulares



Dimensiones			Área	Ejes X-Xe Y-Y		
A mm	Espesor mm (e)	Peso Kg/m	Área cm2	I cm4	W cm3	I cm3
20	1.2	0.72	0.90	0.53	0.53	0.77
20	1.5	0.88	1.05	0.58	0.58	0.74
20	2.0	1.15	1.34	0.69	0.69	0.72
25	1.2	0.90	1.14	1.08	0.87	0.97
25	1.5	1.12	1.35	1.21	0.97	0.95
25	2.0	1.47	1.74	1.48	1.18	0.92
30	1.2	1.09	1.38	1.91	1.28	1.18
30	1.5	1.35	1.65	2.19	1.46	1.15
30	2.0	1.78	2.14	2.71	1.81	1.13
40	1.2	1.47	1.80	4.38	2.19	1.25
40	1.5	1.82	2.25	5.48	2.74	1.56
40	2.0	2.41	2.94	6.93	3.46	1.54
40	3.0	3.54	4.44	10.20	5.10	1.52
50	1.5	2.29	2.85	11.06	4.42	1.97
50	2.0	3.03	3.74	14.13	5.65	1.94
50	3.0	4.48	5.61	21.20	4.48	1.91
60	2.0	3.66	3.74	21.26	7.09	2.39
60	3.0	5.42	6.61	35.06	11.69	2.34
75	2.0	4.52	5.74	50.47	13.46	2.97
75	3.0	6.71	8.41	71.54	19.08	2.92
75	4.0	8.59	10.95	89.98	24.00	2.87
100	2.0	6.17	7.74	122.99	24.60	3.99
100	3.0	9.17	11.41	176.95	35.39	3.94
100	4.0	12.13	14.95	226.09	45.22	3.89
100	5.0	14.40	18.36	270.57	54.11	3.84

- **Anexo 5**

Planos constructivos