

DISEÑO DE UN MECANISMO QUE PREPARE Y DOBLE PAPEL PARA
CONSTRUIR TORRES DE PAPEL EN LA COMPETENCIA “BUILDING TO THE SKY”

JORGE DAVID MORENO GARAVITO

UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA
DIVISIÓN DE INGENIERÍAS
BOGOTÁ
2022

2022DISEÑO DE UN MECANISMO QUE PREPARE Y DOBLE PAPEL PARA CONSTRUIR
TORRES DE PAPEL EN LA COMPETENCIA “BUILDING TO THE SKY”

JORGE DAVID MORENO GARAVITO

Proyecto de trabajo de grado en la modalidad de solución a un problema de ingeniería, para optar
al título de Ingeniero Mecánico

Director
Ing. Andrés Gerardo Clavijo V.
Ingeniero Mecánico

UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA
DIVISIÓN DE INGENIERÍAS
BOGOTÁ
2022

Nota de aceptación:

Firma del presidente del Jurado

Firma Jurado

Firma Jurado

Bogotá (22 de noviembre de 2021)

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a Dios Padre, a mi madre, padre, hermano y novia. Ellos, están presentes día tras día para inspirar, animar, alentar y potenciar mis sueños. Además, los admiro y me apoyo en ellos por los ejemplos de seres humanos íntegros en todas sus dimensiones y profesiones.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco primeramente al Creador, a mi familia y mi novia Luz Marina, por la motivación para culminar esta etapa de mi estudio profesional. A los docentes de la Universidad Santo Tomás, que cimentaron y orientaron con su luz para enriquecer la construcción de mis conocimientos durante el proceso de aprendizaje y así lograr potenciar mi desarrollo integral. Por último, al director del proyecto de grado: Ingeniero Andrés Gerardo Clavijo quien me guió durante el desarrollo del mismo y brindó asesoría durante las clases y fuera de ellas.

CONTENIDO

	pág.
GLOSARIO.....	13
RESUMEN.....	14
INTRODUCCIÓN.....	16
1. GENERALIDADES DEL PROYECTO.....	7
1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	7
1.2 JUSTIFICACIÓN.....	7
1.3 OBJETIVO GENERAL.....	8
1.4 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	8
1.5 ALCANCE.....	8
2. MARCO REFERENCIAL.....	9
2.1. MARCO CONCEPTUAL.....	9
2.1.1 Cabezal.....	9
2.1.2 Suaje.....	9
2.1.3 Troquel rotativo.....	9
2.1.4 Torre.....	10
2.1.5 Ventosas.....	10
2.2 MARCO CONTEXTUAL.....	10
2.2.1 Reglas preliminares: elegibilidad del equipo, restricciones de diseño y procedimientos de evaluación.....	10

2.2.2 Reglas configuración de prueba: preparación para prueba, operación operador/dispositivo.....	11
2.2.3 Reglas de calificación de la prueba.....	11
2.3 ESTADO DEL ARTE.....	12
2.3.1 Dispositivos para plegar.....	12
2.3.2 Dispositivos para cortar papel o cartón.....	17
2.3.3 Dispositivos formadores de cajas.....	20
3. SELECCIÓN ESTRUCTURA DE PAPEL.....	22
3.1 PROCESO DE SELECCIÓN EXPERIMENTAL PARA LA TORRE.....	22
3.1.1 Prueba de ensamblaje físico:.....	23
3.1.2 Prueba de construcción en CAD.....	31
3.2 PRODUCTO FINAL Y ESPECIFICACIONES DE FABRICACIÓN DE LA PIEZA	

36

4.DISEÑO CONCEPTUAL.....	40
4.1 METODOLOGÍA.....	40
4.2 ESPECIFICACIONES DE INGENIERÍA.....	40
4.3 GENERACIÓN Y EVALUACIÓN DE ALTERNATIVAS.....	42
4.3.1 Morfología de la tarea de doblado.....	43
4.3.2 Morfología de la tarea de corte.....	44
4.3.3. Generación de ideas.....	45

5. DISEÑO DE DETALLE.....	51
5.1 CAD PRELIMINAR.....	51
5.2 DISEÑO FINAL.....	52
5.2.1 Diseño del sistema de transmisión de potencia.....	54
5.2.2 Diseño mecanismo de doblado.....	57
5.2.3 Diseño mecanismo de corte.....	60
5.2.3.1 Diseño del cabezal de corte.....	61
5.2.3.2 Selección motor mecanismo de corte.....	62
5.4 ELEMENTOS NORMALIZADOS.....	65
5.4.1 Elementos normalizados.....	65
5.4.2. Piezas diseñadas y a fabricar.....	66
6. COSTOS DE FABRICACIÓN DEL PROYECTO.....	69
6.1 COSTO RECURSOS HUMANOS.....	69
6.2 COSTOS DE EQUIPOS Y HERRAMIENTAS.....	70
6.2.1 Costos de equipos de cómputo.....	70
6.2.2 Costos de software.....	71
6.2.3 Costos consumibles.....	71
6.2.4 Costos herramientas y máquinas.....	72
6.3 COSTOS MATERIALES, PIEZAS Y TAREAS TERCERIZADAS.....	72
6.3.1 Tareas tercerizadas.....	72

6.3.2 Costo piezas normalizadas, perfiles OB y espuma.....	73
6.4 RESUMEN Y DETERMINACIÓN DEL COSTO.....	74
7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	76
7.1 CONCLUSIONES.....	76
7.2 RECOMENDACIONES.....	76
8.REFERENCIAS.....	78

LISTA DE CUADROS

<i>Cuadro 1. Plegadoras de papel con similitud a la patente US5242364.....</i>	<i>14</i>
<i>Cuadro 2. Mecanismos para doblar papel.....</i>	<i>16</i>
<i>Cuadro 3. Caracterización de los elementos de corte la formadora de cajas.....</i>	<i>17</i>
<i>Cuadro 4. Máquinas multicorte de cartón.....</i>	<i>18</i>
<i>Cuadro 5. Tipos de troqueles rotativos.....</i>	<i>18</i>
<i>Cuadro 6. Mecanismos para cortar papel.....</i>	<i>19</i>
<i>Cuadro 7. Mecanismos formadores de cajas.....</i>	<i>21</i>
<i>Cuadro 8. Proceso estándar para formar las piezas de papel rectangulares.....</i>	<i>23</i>
<i>Cuadro 9. Proceso estándar para formar las piezas de papel triangulares.....</i>	<i>25</i>
<i>Cuadro 10. Piezas para la construcción de torres de papel.....</i>	<i>27</i>
<i>Cuadro 11. Matriz de evaluación aplicada a las torres de 2 pisos.....</i>	<i>29</i>
<i>Cuadro 12. Presentación de los modelos de ficha utilizados en la segunda fase.....</i>	<i>32</i>
<i>Cuadro 13. Matriz de decisión para selección de la pieza a fabricar.....</i>	<i>36</i>
<i>Cuadro 14. Tareas a realizar para formar la ficha PRI62-M3.....</i>	<i>40</i>
<i>Cuadro 15. Especificaciones de la competencia y de ingeniería para el diseño del dispositivo... </i>	<i>42</i>
<i>Cuadro 16. Especificaciones obtenidas del capítulo de construcción de torres y adicionales....</i>	<i>43</i>
<i>Cuadro 17. Descomposición funcional de la tarea de doblado de papel y marcas laterales.....</i>	<i>44</i>
<i>Cuadro 18. Descomposición funcional de la tarea de corte y marcado.....</i>	<i>45</i>
<i>Cuadro 19. Matriz de desición idea de doblado.....</i>	<i>49</i>
<i>Cuadro 20. Matriz de decisión para la selección del mecanismo de corte.....</i>	<i>52</i>
<i>Cuadro 21. Dimensiones geométricas de los engranajes.....</i>	<i>59</i>
<i>Cuadro 22. Dimensiones de las correas seleccionadas.....</i>	<i>60</i>
<i>Cuadro 23. Listado de piezas normalizadas utilizadas en el diseño del mecanismo.....</i>	<i>69</i>
<i>Cuadro 24. Caracterización del material utilizado, unidades, operación y descripción de la pieza a fabricar.....</i>	<i>70</i>
<i>Cuadro 25. Costos de recurso humano.....</i>	<i>73</i>
<i>Cuadro 26. Costos equipos de cómputo.....</i>	<i>74</i>
<i>Cuadro 27. Costos de software.....</i>	<i>74</i>
<i>Cuadro 28. Costos de consumibles.....</i>	<i>74</i>
<i>Cuadro 29. Costos de equipos.....</i>	<i>75</i>
<i>Cuadro 30. Costos piezas fabricadas por proveedores externos.....</i>	<i>76</i>
<i>Cuadro 31. Costos de piezas normalizadas y perfiles.....</i>	<i>76</i>
<i>Cuadro 32. Costo total del dispositivo.....</i>	<i>78</i>

LISTADO DE TABLAS

<i>Tabla 1. Especificaciones para la construcción de la torre.....</i>	<i>22</i>
<i>Tabla 2. Datos sobre las torres construidas.....</i>	<i>35</i>
<i>Tabla 3. Subetapas del proceso de diseño de Ullman.....</i>	<i>41</i>
<i>Tabla 4. Descripción de conceptos comunes entre los mecanismos.....</i>	<i>44</i>
<i>Tabla 5. Descripción de conceptos propios de la tarea de doblado.....</i>	<i>45</i>
<i>Tabla 6. Descripción de conceptos propios de la tarea de corte.....</i>	<i>46</i>

LISTADO DE FIGURAS

<i>Figura 1. Cabezal de corte para cizalla de papel.....</i>	<i>9</i>
<i>Figura 2. Suaje para formar cajas.....</i>	<i>9</i>
<i>Figura 3. Ventosas industriales.....</i>	<i>10</i>
<i>Figura 4. Mecanismo para doblar papel de la máquina de Edward Stanley 1890.....</i>	<i>13</i>
<i>Figura 5. Easyguler 100 Heidelberg.....</i>	<i>13</i>
<i>Figura 6. Sistema de plegado con eje gancho.....</i>	<i>13</i>
<i>Figura 7. Plegadora de papel de rodillos inventado por W. Lehmann.....</i>	<i>14</i>
<i>Figura 8. Vista de corte lateral plegadora de papel, con patente US4573672.....</i>	<i>15</i>
<i>Figura 9. Vista de corte superior, sistema de transmisión de la patente US4573672.....</i>	<i>15</i>
<i>Figura 10. Construcción módulo PR108.....</i>	<i>30</i>
<i>Figura 11. Construcción módulo PR162.....</i>	<i>30</i>
<i>Figura 12. Ensamble entre piezas PR162-M2, con ranura de 1mm de ancho y 20mm de profundidad.....</i>	<i>33</i>
<i>Figura 13. Ensamblaje físico de 5 piezas PR162-M3, con el fin de comprobar su estabilidad y el apriete entre las piezas.....</i>	<i>34</i>
<i>Figura 14. Pieza antes de ser formada en 3D, con las pestañas ya cortadas para ser dobladas.....</i>	<i>35</i>
<i>Figura 15. Croquis de la pieza PR162-M03.....</i>	<i>37</i>
<i>Figura 16. Croquis de la pieza PR162-M3, con modificaciones en la etapa de diseño.....</i>	<i>38</i>
<i>Figura 17. Etapas del proceso de diseño de Ullman.....</i>	<i>40</i>
<i>Figura 18. Idea 1, conformada por troquel rotativo, con rieles guías y transporte de banda transportadora. En el esquema se explican las funciones de cada componente del mecanismo.....</i>	<i>46</i>
<i>Figura 19. Idea 2, dobladora de papel con marca de pestaña previa al proceso de doblado.....</i>	<i>46</i>
<i>Figura 20. Idea 3 dobladora de papel con marca en la entrada, con guías en posición vertical.....</i>	<i>47</i>
<i>Figura 21. Idea 1 corte, troquel rotativo con explicación modo croquis.....</i>	<i>48</i>
<i>Figura 22. Idea 2, troquel general adaptado para papel.....</i>	<i>49</i>
<i>Figura 23. Idea 3, rodillo de presión para corte.....</i>	<i>49</i>
<i>Figura 24. Vista isométrica preliminar del dispositivo completo.....</i>	<i>51</i>
<i>Figura 25. Vista isométrica preliminar en el sentido contrario de la figura 24.....</i>	<i>52</i>
<i>Figura 26. Vista isométrica del mecanismo de doblado y corte.....</i>	<i>53</i>
<i>Figura 27. Vista isométrica posterior del dispositivo.....</i>	<i>53</i>
<i>Figura 28. Vista frontal del dispositivo.....</i>	<i>54</i>
<i>Figura 29. Vista seccionada en la que se observa gran parte del sistema de transmisión.....</i>	<i>55</i>
<i>Figura 30. Vista seccionada posterior del sistema de transmisión.....</i>	<i>55</i>
<i>Figura 31. Vista de corte del mecanismo de doblado.....</i>	<i>57</i>
<i>Figura 32. Soporte cuchillas de marca y guía de entrada del mecanismo.....</i>	<i>58</i>
<i>Figura 33. Diagrama de explicación mecanismo de doblado.....</i>	<i>58</i>
<i>Figura 34. Microreductor.....</i>	<i>60</i>
<i>Figura 35. Vista de corte del mecanismo de corte.....</i>	<i>61</i>
<i>Figura 36. Cabezal de corte o carro.....</i>	<i>62</i>
<i>Figura 37. Suaje de corte, vista isométrica.....</i>	<i>65</i>

GLOSARIO

CONCEPCIÓN: Acción y efecto de concebir. Formar la idea de algo en la mente.

DISPOSITIVO: Mecanismo o artificio para producir una acción prevista.

DEPRECIACIÓN: Disminución del valor o precio de algo, ya con relación al que antes tenía, ya comparándolo con otras cosas de su clase.

FACTIBILIDAD: Cualidad o condición de factible. Que se puede hacer.

FILO: Arista o borde agudo de un instrumento cortante.

GUIAR: Hacer que una pieza de una máquina u otro aparato siga en su movimiento determinando el camino.

IMPRESORA: Máquina que, conectada a una computadora u otro dispositivo electrónico, imprime los resultados de las operaciones.

MANUFACTURA: Obra hecha a mano o con auxilio de máquina.

MÁQUINA: Conjunto de aparatos combinados para recibir cierta forma de energía y transformarla en otra más adecuada, o para producir un efecto determinado.

MECANISMO: Conjunto de las partes de una máquina en su disposición adecuada.

METODOLOGÍA: Conjunto de métodos que se siguen en una investigación científica o en una exposición doctrinal.

MODELADO: Configurar o conformar algo. Formar o constituir algo.

MOTORREDUCTOR: máquina muy compacta que combina un reductor de velocidad y un motor. Estos van unidos en una sola pieza y se usa para reducir la velocidad de un equipo de forma automática.

PRECISIÓN: Cualidad de preciso. Dicho de un instrumento de medida: Que permite medir magnitudes con un error mínimo.

.

RESUMEN

En el presente trabajo de investigación se elaboró el diseño de un mecanismo que dobla y corta papel para el concurso de la ASME (Asociación Americana de Ingenieros Mecánicos) *Student Desing Competition*. En el cual, una máquina debe construir torres con papel de manera autónoma. Ello atendiendo el reglamento y especificaciones del SDC.

Para llegar al diseño del mecanismo se realizaron varias etapas. En primer momento, se elaboró el estudio sobre los dobleces y cortes del papel a la par con la construcción de torres en forma manual para seleccionar qué tipo de pieza de papel que va a fabricar el mecanismo. Luego, con la torre y pieza definida, se procedió a elaborar el respectivo estado del arte sobre máquinas que doblan y cortan papel en la industria y que cumplen en gran parte con los requerimientos del concurso. Lo anterior dio las bases para la generación y evaluación de las ideas que conllevaron al diseño del dispositivo.

Con la elección de la idea y la pieza de papel se procedió a realizar el diseño de detalle. Este consistió en la modelación del mecanismo en software CAD en paralelo con los cálculos que dan el origen a los planos de manufactura del dispositivo.

Después, se determinaron los costos generados para el proyecto y su futura fabricación. Se recomienda el uso de piezas normalizadas por costos, y usar mecanismos compactos por el volumen, ya que se deben incluir las herramientas y baterías para las posibles reparaciones durante la competencia según el reglamento.

Palabras clave: papel, diseño, pieza, construcción, torre, concurso, mecanismo.

ABSTRAC

In the present research work the design of a mechanism that fold and cut paper was made for ASME(American Society of Mechanical Engineers) student design competition. In which, a machine must build paper tower autonomously. It attending the SDC regulation and specifications.

To get to the design of the mechanism were made various stages. At first, the study was prepared on the folds and cuts of paper at par with building of tower manually for selection that type of part of paper that is going to be manufactured the mechanism. Later, with the tower and part defined, proceeded to elaborate the respective state of the art about bending and cutting machines in the industry and what accomplish in great measure with the requirements of competition. The above gave the givens for the generation and evaluation of ideas that entailed the design of mechanism.

Whit selection of idea and piece of paper it proceeded perform the detail design. This consisted in the modeling of mechanism in software CAD in parallel with the calculations that give the origin to the manufacturing plans.

After, were determined the costs generated for the project and its future manufacture. It is recommended the use the standard parts by costs, and use the compact mechanism by the volume, Since the tools and batteries must be included for the possible repairs during the competition according to the regulation.

Key Works: paper, design, part, building, tower, competition, mechanism.

INTRODUCCIÓN

Este proyecto describe la aplicación de una serie de herramientas como parte metodológica que conlleva al objetivo principal que se traza en diseñar un mecanismo que prepare y doble el papel para la construcción de torres con este material. En la competencia del SDC (*Student Design Competition*), esta actividad se desarrolla desde la investigación para seleccionar la pieza de papel que tiene que manufacturar el mecanismo diseñado, hasta la obtención de los costos generados en el proyecto. Por otro lado, con este tipo de proyectos se busca incentivar a más estudiantes a participar en esta clase de competencias y en el campo del Investigación, desarrollo e innovación (i+D+I).

Para iniciar, se presenta el marco conceptual con el reglamento de la competencia, el estudio del estado del arte, en el que se detallan los mecanismos que cumplen con las condiciones de doblar y cortar papel. Máquinas que generalmente se utilizan en la industria del papel y el cartón. Luego, se expone la etapa de investigación y desarrollo, con el fin de seleccionar el modelo apropiado, construyendo piezas de papel que cumplan con las especificaciones de la competencia (SDC). Esta etapa se ejecutó en dos fases: la primera fue ensamblaje físico de torres con diferente variedad de piezas inspirado en los bloques ensamble tipo Lego, donde se realiza el primer filtro para la selección de la pieza. En la segunda fase, se hace un ensamblaje en software CAD para construir diferentes tipos de torres y seleccionar con qué modelo de pieza se puede obtener la torre con las mejores características que exige la competencia. Con lo anterior, se elige la pieza a fabricar generando las especificaciones técnicas, y procedimientos para la elaboración de la torre.

A continuación, se muestra el proceso del diseño conceptual del mecanismo y la metodología de diseño para implementar el desarrollo del objetivo principal del proyecto. Así mismo, se van exponiendo las ideas generales que perfilan el camino al objeto de estudio. Estas ideas pasan por la descomposición morfológica de subsistemas que se usan en el mecanismo para demostrar la idea seleccionada para el diseño de detalle.

Para finalizar, se desarrolló el diseño de detalle del mecanismo en el que se seleccionaron las piezas estandarizadas a utilizar, y se explica el funcionamiento del mecanismo en detalle. También se presentan los cálculos necesarios para la selección de piezas y motores. De igual modo, el diseño de los planos del mecanismo a fabricar como producto final del proyecto, dar lugar a los cálculos y los costos para la fabricación del mecanismo.

1. GENERALIDADES DEL PROYECTO

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La Sociedad Americana de Ingenieros Mecánicos (ASME) realiza todos los años el ASME E-Fest (Festival de ingeniería para estudiantes), consiste en una competencia que busca incentivar a las diferentes Universidades del mundo a participar en una serie de retos que van cambiando año tras año. Estas competencias ponen a prueba las habilidades y conocimientos de los estudiantes de ingeniería, con retos de diseño y construcción para el desarrollo de sistemas y equipos dedicados a actividades específicas. Algunos de los concursos planteados son: Competencia del Vehículo de Tracción Humana (HPVC), Concurso de Diseño Estudiantil (SDC) y el Concurso de Innovación de Manufactura Aditiva 3D(IAM3D). En estos se tienen que realizar todas las etapas del diseño mecánico, hasta la construcción y puesta en marcha del dispositivo [1].

Para el año 2020 el SDC, propone el reto “Building to the Sky” en el cual un equipo multidisciplinario de estudiantes debe diseñar y manufacturar un dispositivo capaz de construir una torre de papel por sí solo. El propósito del desafío es enfocar a los participantes en el diseño de dispositivos capaces de realizar procesos de manufactura y construcción de forma autónoma [2],[3]. Al analizar en detalle el mecanismo que se necesita desarrollar, se prevé que debe contar con varias etapas para la construcción de la torre de papel en las que se involucra: preparación del papel y doblado, pre ensamblaje de los componentes y un mecanismo de construcción de la torre.

Por consiguiente, en este trabajo de grado se pretende diseñar uno de los mecanismos implicados para superar el desafío del SDC, en específico el mecanismo que prepare y doble el papel. En efecto, a través de la utilización de una metodología de diseño se busca dar solución al problema propuesto por la ASME, siguiendo los lineamientos establecidos por la competencia.

1.2 JUSTIFICACIÓN

El presente proyecto se propone como parte de la propuesta de participar en un concurso estudiantil donde se plantea desarrollar y explorar las habilidades de los estudiantes de ingeniería, con la finalidad de generar nuevos conocimientos especialmente en el área de manufactura [3]. El proyecto está enfocado hacia la investigación, el desarrollo y la innovación en los procesos de fabricación, automatizándolos para una mayor producción en menor tiempo, con menos recursos y de calidad, de esta manera mejorar la calidad de vida de las personas de la industria manufacturera.

Así mismo, La participación de la Universidad Santo Tomás en este tipo de competencias permitirá una mayor visibilidad a nivel nacional del programa de ingeniería mecánica. De tal manera que, por medio de la investigación en semilleros o proyectos de iniciativa propia de los estudiantes se aporten e implementen soluciones que dejen el nombre de la institución en alto.

1.3 OBJETIVO GENERAL

Diseñar un mecanismo que prepare y doble el papel para la construcción de torres con este material.

1.4 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar el tipo de estructura de papel apropiado.
- Plantear diferentes alternativas de diseño teniendo en cuenta el tipo de estructura seleccionada.
- Realizar el diseño de detalle de la alternativa seleccionada.
- Calcular los costos de fabricación a partir del diseño final del mecanismo.

1.5 ALCANCE

En respecto al planteamiento del problema se pretende diseñar uno de los mecanismos implicados para superar el desafío del concurso de diseño estudiantil de la ASME, en específico uno que doble y prepare el papel. Con el fin de incentivar a los estudiantes de ingeniería a unirse para desarrollar este tipo de competencias, que proponen un reto y permiten a la universidad mostrarse a nivel internacional por medio de la ASME.

La competencia propone un reto, ya que no solo se requiere del diseño mecánico, también se necesita la implementación de sistemas electrónicos que ayuden a automatizar el proceso que se desea realizar. Los cuales, también están condicionados por los recursos económicos con los que se cuente para la adquisición o materialización de tecnologías, que permitan dar solución al problema. Por lo tanto, es importante la implementación de una metodología de diseño y un equipo para obtener diferentes puntos de vista y poder competir. Desde esta perspectiva, el presente trabajo de grado pretende aportar una mirada a estas competencias por medio del diseño de una parte del dispositivo o máquina y un resumen de los costos que este genera para dar una idea aproximada de los recursos que se deben destinar, para que un futuro la universidad pueda competir en el SDC.

Por tal razón, este proyecto es un paso hacia el objetivo macro de la ASME, pero no se postula para competir en el SDC. Sin embargo, se pretende dejar un diseño final con unos costos, para que la universidad por medio de los semilleros de investigación se interese por este tipo de actividades y participen en este tipo de competencia, que aportan directa o indirectamente en la generación de conocimiento y la formación de futuros ingenieros mecánicos.

En conclusión, la fundamentación y referencia para este proyecto han sido el reglamento de la competencia ASME, máquinas que comercialmente desarrollan las tareas que debe cumplir el mecanismo. Además, la metodología de diseño para obtener el producto final.

2. MARCO REFERENCIAL

2.1. MARCO CONCEPTUAL

2.1.1 Cabezal. (figura 1) Es un dispositivo mecánico generalmente móvil, sobre el cual se montan diferentes tipos de herramientas. Claro está que hay cabezales para diferentes aplicaciones y con diferentes modos de operación, cuya función principal es limitar el movimiento en una dirección definida [4].

Figura 1. Cabezal de corte para cizalla de papel.



Fuente: Amazon, “Swordfish - Cabezal de corte para cortadora de papel de la serie Elite”, 2020. [Online]. Available: <https://www.amazon.es/>. [Accesed: 19-Ene-2021]

2.1.2 Suaje. (figura 2) Es una herramienta similar a un troquel, pero usado para materiales blandos como el papel, cartón, cuero, fomi, entre otros. Consta de unas tiras de metal afiladas para cortar el material y otras sin filo las cuales marcan un doblez [5].

Figura 2. Suaje para formar cajas.



Fuente: Cyecsa. “Suajes en cartón”, 2020. [Online]. Available: <https://www.cyecsa.com/>. [Accesed: 19-Ene-2021]

2.1.3 Troquel rotativo. Está compuesto por un cilindro porta herramientas, dotado de un troquel y un rodillo de contra partida. La contra partida actúa como la placa de corte que permite a las

cuchillas penetrar en el material y los flejes de hendido (Rajado, abierto)[6] para crear hendiduras bien definidas [7].

2.1.4 Torre. Las torres son estructuras diseñadas con formas determinadas que se caracterizan por tener mayor dimensión en altura que en el ancho. Las torres están construidas a base de piezas o elementos seleccionados según el objetivo, la necesidad y funcionalidad que el ser humano lo requiera.

2.1.5 Ventosas. (figura 3) Son componentes que utilizan la presión negativa del aire, comúnmente llamado vacío, para adherirse a superficies poco porosas. A través, de una fuerza de succión generado por el vacío, dada por las diferencias de presión en el exterior de la ventosa y la cavidad de baja presión en el interior de la misma [8].

Figura 3. Ventosas industriales.



Fuente: Diprax. " Ventosas ". [Online]. Available: <http://www.diprax.es>. [Accesed:19-Ene-2021]

2.2 MARCO CONTEXTUAL

El reglamento de la competencia del ASME E-Fest establece tres tipos de reglas que se deben tener en cuenta para la construcción del dispositivo con el cual se va competir, este tipo de reglas son las reglas preliminares, reglas de configuración durante la competencia y reglas de calificación de la prueba. Aunque no se vaya a diseñar el dispositivo completamente, este reglamento se debe tener en cuenta, puesto que en él se encuentran las restricciones de diseño que la máquina debe cumplir para poder competir [2].

2.2.1 Reglas preliminares: elegibilidad del equipo, restricciones de diseño y procedimientos de evaluación. A continuación, se mencionan las reglas más importantes para el diseño del mecanismo:

- a. Cada equipo debe proporcionar una caja rígida para transportar el dispositivo, las herramientas para realizar reparaciones menores y las baterías tanto de uso como de repuesto. Las dimensiones interiores de la caja deben ser de 50 cm x 50 cm x 50 cm [2].

- b. Al empezar cada ronda, el dispositivo debe ser instalado dentro de la zona delimitada. El dispositivo debe permanecer todo en contacto con el suelo y no debe ser asegurado[2].
- c. Solo se debe utilizar energía proveniente de baterías recargables. No son permitidos otros tipos de almacenamiento de energía como aire comprimido o resortes precomprimidos [2].
- d. Las baterías pueden ser intercambiadas entre rondas. Se pueden recargar y deben ser almacenadas en la caja de la competición [2].

2.2.2 Reglas configuración de prueba: preparación para prueba, operación operador/dispositivo.

- a. Las dimensiones del área de prueba son de 2 m x 2 m. El dispositivo debe ingresar en la caja al área de competición [2].
- b. Los equipos disponen de un minuto para remover la caja y preparar el dispositivo. Y otro para conectar la potencia al dispositivo y configurar su operación[2].
- c. El dispositivo debe fabricar de manera autónoma una torre con hojas de papel de 20 lb, tipo A4 o carta. El papel no puede ser modificado antes de ingresar al dispositivo y este solo doblar, cortar y unir mecánicamente hojas individuales de papel. No se puede agregar sustancias al papel antes y después de estar en contacto con el mecanismo[2].
- d. El papel de la torre puede permanecer en contacto con el dispositivo durante la prueba.
- e. Solo se pueden usar 100 hojas como máximos por prueba[2].
- f. El papel se debe cargar de forma manual por un miembro del equipo. El equipo debe disponer de un panel control para su operación[2].
- g. El encargado de cargar el papel debe soltar la hoja tan pronto el dispositivo tome el control de la misma[2].
- h. Los equipos tienen permitido más de un sistema de alimentación, pero solo se debe ingresar una hoja a la vez por la persona asignada[2].

2.2.3 Reglas de calificación de la prueba. Las reglas de calificación se dividen en dos rondas, la ronda inicial de medición de rendimiento la cual es una etapa clasificatoria para pasar a una segunda etapa, donde se desarrollan tres retos los cuales entregan puntos para pasar a la siguiente ronda de octavos de final. La segunda etapa es de eliminación directa, donde se enfrentan dos participantes y el que no cumpla el reto queda eliminado de la competencia[2].

2.2.3.4 Ronda de medición de rendimiento. Durante el primer día de competición, los dispositivos serán probados en los siguientes tres modos de operación:

- *Higher*. Construir la torre de papel más alta en 10 minutos.
- *Faster*. Construir una torre de 1.5m lo más rápido posible (5 min máx.)
- *Stronger*. Construir la torre de papel más fuerte posible en 10 minutos[2].

2.2.3.5 Prueba de altura. En la prueba de altura, todos los equipos serán puntuados por la altura final alcanzada. Los equipos podrán parar de construir en cualquier momento que decidan, pero deben detenerse a los 10 minutos. Las torres que colapsen antes pueden ser medidas deben ser puntuadas por la altura del papel en la estructura colapsada. Todos los equipos deberán ser clasificados del primero al último basado en la altura alcanzada de la torre de papel[2].

2.2.3.6 Prueba de velocidad: En esta prueba, todos los equipos serán puntuados por su tiempo de construcción de una torre de 1.5m desde el piso. Los equipos que no logren esta altura pueden ser puntuados según la altura alcanzada en los 5 minutos. Los equipos podrán parar de construir en cualquier momento que decidan, pero deben parar a los 5 minutos [2].

2.2.3.7 Prueba de fuerza: en dicha prueba, todos los equipos serán puntuados en la altura final de la torre y la cantidad de peso que el equipo puede soportar desde la parte superior de la torre completada. Los equipos pueden aplicar cualquier peso que traigan a la competencia. La puntuación del equipo en la ronda será determinada por el peso final y la altura de la ubicación de la torre donde es soportado el peso. Todos los equipos se calificarán del primero al último según la siguiente ecuación [2]:

$$\text{Puntaje fuerza} = (\text{Altura final} - 50 \text{ cm}) * (\text{Peso soportado})$$

2.3 ESTADO DEL ARTE

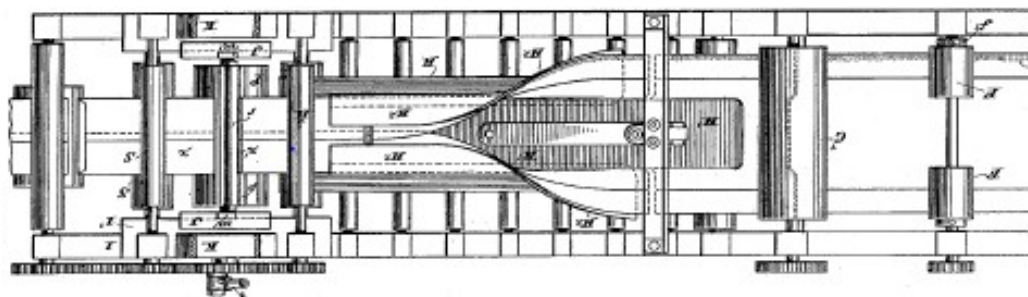
La idea principal del proyecto se define como el montaje de una línea de producción portátil. Ya que el conjunto completo debe cumplir diferentes tareas como lo son el doblado, corte y formado del papel, además de un equipo que se encargue de la construcción de la torre. En este proyecto solo se desarrolla un mecanismo que prepara y dobla el papel, para la construcción de torres con este material. Aunque se presenta un estado del arte con mecanismos para dar la forma de ficha final al papel, solo se desarrolla el que se nombra en el objetivo principal.

En la industria se encuentran diferentes tipos de máquinas para la fabricación de cajas de cartón, plegado de folletos, cartas, recibos entre otros. Por tal razón, el estado del arte se dividió en las siguientes tres secciones: Dispositivos para plegar, dispositivos para cortar y marcar, y dispositivos de formado.

2.3.1 Dispositivos para plegar. Son bastante antiguos ya que algunas patentes datan 1890, como lo es la “paper-bag machinery” desarrollada por Edward Stanley [9] la cual fue aprobada el 22 de julio de 1890, con el número US432,742 de la oficina de patentes de los Estados Unidos. Cuyo principio de diseño fue aumentar la cantidad de bolsas de papel por hora y facilitar el proceso, además estaba compuesto por diferentes mecanismos encargados de cortar, doblar, pegar, y suministrar la materia prima. Algunos diagramas de esta patente se observan en la figura 4.

La mayoría de las máquinas utilizadas en la industria del cartón y las bolsas de papel utilizan como base esta patente. Un ejemplo de estas máquinas es Easygluer 100 Heidelberg (Ver figura 5), la cual se utiliza para la fabricación de cajas de cartón, esta toma una lámina que ya ha sido cortada y marcada, a su vez se encarga de añadir pegamento para unir los extremos y doblar el cartón para darle la forma deseada[10], para que finalmente una formadora de cajas la transforme en un objeto tridimensional.

Figura 4. Mecanismo para doblar papel de la máquina de Edward Stanley 1890.



Fuente: E. Stanley, "Paper bag machinery," US432742, 1890.

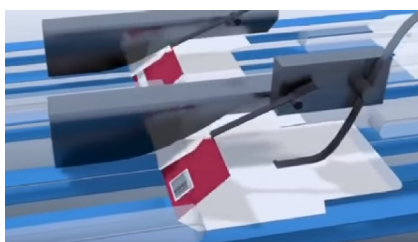
Figura 5. Easyguler 100 Heidelberg.



Fuente: Heidelberg, "Easyguler 100. | Heidelberg Druckmaschinen AG." [Online]. Available: <https://www.heidelberg.com>. [Accessed: 22-Feb-2020]

La Easyguler 100 Heidelberg cuenta con otros dos sistemas para el doblado del papel los cuales constan de dos tipos de ejes: el primero es un eje sobre el cual se montan un conjunto con una serie de ganchos que toma un extremo suelto del cartón y genera un doblez de 180°. El otro está compuesto por un gancho montado sobre un resorte helicoidal el cual cumple la misma función (ver figura 6), con ayuda del sistema de transporte por el cual se mueve el cartón y un sistema de guía el cual hace que se genere el pliegue[11][12]. Esto solo nombrando una de las pocas que utiliza este sistema.

Figura 6. Sistema de plegado con eje gancho.

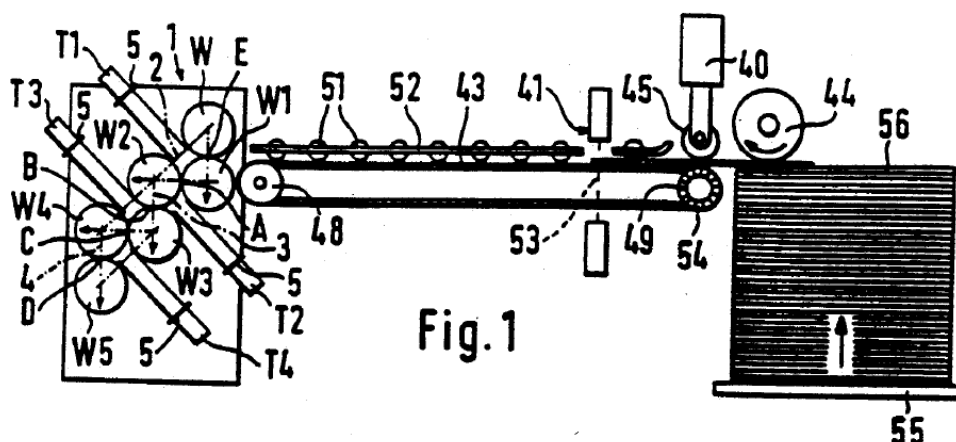


Fuente: Heidelberg India, "Heidelberg India - Easygluer 100 - YouTube"

En la industria también se han inventado máquinas para doblar hojas de papel para las oficinas, papelerías y pequeñas imprentas. Utilizadas para plegar folletos, cartas, facturas, entre otros. Ya que estas disponen de diferentes configuraciones para hacer distintos tipos de dobleces. Algunas

de estas máquinas son las Martín Yale 7200, la CFM 600, Plegadora ABB TF Mega, las cuales se aprecian junto con sus características técnicas más destacables en el cuadro 1. Las máquinas mencionadas, basan su funcionamiento en la patente US00524364, del 7 de septiembre de 1993 del Alemán Werner Lehmann, con el nombre de Plegadora de papel con rodillos con doblado ajustable. Cuyo funcionamiento consiste en llevar uno de los bordes de la hoja hasta un tope, dado por el empuje de los rodillos, luego otro par de rodillos la atrapa en un punto intermedio y genera el doblado [13]. El dibujo de esta patente se puede apreciar en la figura 7.

Figura 7. Plegadora de papel de rodillos inventado por W. Lehmann



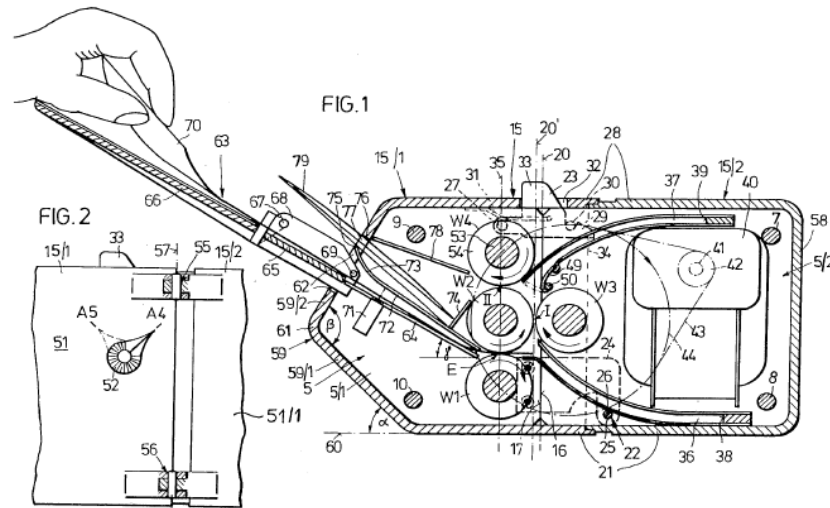
Fuente: W. Lehmann, "Paper-Folding machine with adjustable folding rollers," US005242364, 1993.

Cuadro 1. Plegadoras de papel con similitud a la patente US5242364.

Plegadoras de papel, con similitud a la patente US005242364 de 1993			
Características	Martín Yale P7200	Cyklos CFM-600	ABB Plegadora TF Mega
Imagen			
Dimensiones(mm)	330x270x190	770x445x490	620x480x535 mm
Formato papel	A4	A3, A4, A5	A6, A5, A4, A3
Peso (kg)	7,7	23	32
Rendimiento	4000 hojas/hora	4200 A4/hora	7200 hojas/hora
Fuente: Elaboración propia con base en [14],[15], [16].			

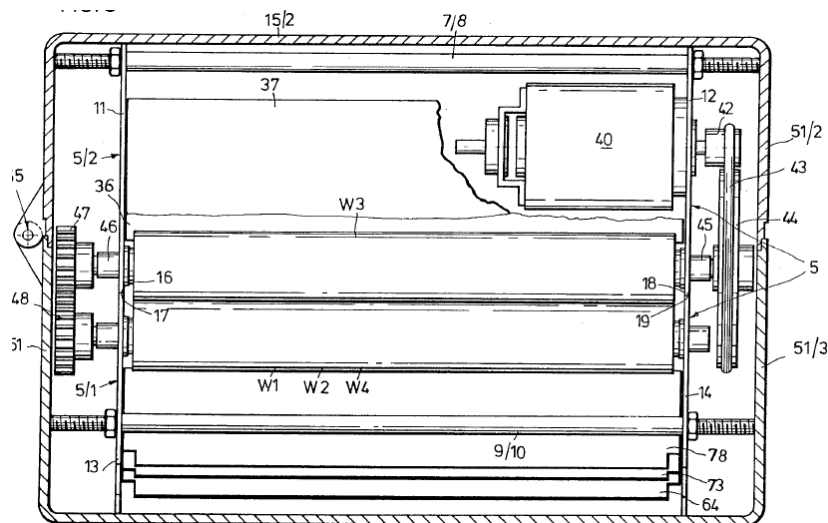
Con anterioridad, Lehman había patentado un sistema similar, en compañía de Rainer Fecker y Manfred Fuss, llamado dobladora de papel, con el número de patente US4573672 de 4 de marzo de 1986. El sistema consta de cuatro rodillos y dos pasos de tope, cuyo funcionamiento es básicamente el mismo (Ver figura 8), pero con un sistema más compacto concebido para hojas de tamaño DIN A4. El cual solo utiliza un motor y transmite la potencia por medio de poleas y engranajes a los rodillos los cuales se observan en la figura 9, que se encargan de transportar y doblar el papel. Esta patente es una máquina bastante detallada en funcionamiento en comparación con la US5242364 [17]

Figura 8. Vista de corte lateral plegadora de papel, con patente US4573672.



Fuente: W. Lehmann, R. Fecker, and M. Fuss, "Paper folding machine," US4573672, 1986.

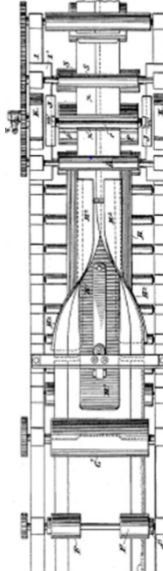
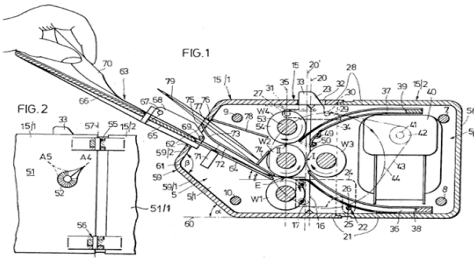
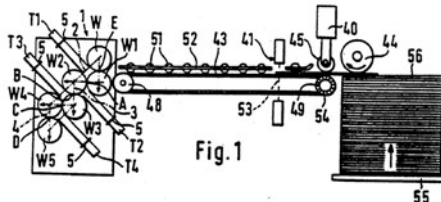
Figura 9. Vista de corte superior, sistema de transmisión de la patente US4573672.



Fuente: W. Lehmann, R. Fecker, and M. Fuss, "Paper folding machine," US4573672, 1986.

En resumen, en el cuadro 2 se aprecia un compendio de los mecanismos para plegar el papel, que más se acomodan a las necesidades del proyecto:

Cuadro 2. Mecanismos para doblar papel.

Nombre	Descripción	Imagen
Patente US472732	El mecanismo consiste en un sistema que dobla la hoja, llevándola por unas guías, creando un doble de 180°. El cual es rectificado al final por unos rodillos, para generar por completo el pliegue.	
Patente US457672	Su funcionamiento, está basado en una serie de rodillos los cuales se encargan de transportar y doblar el papel generando el doblez cuando este se traba y el otro juego de rodillos lo atrapa a una distancia específica y completa el pliegue.	
Patente US5242364	Este sistema se deriva de la patente US5242364, en cuanto al pliegue por rodillos el cual genera más de un tipo de doblez. Además de que tiene una banda transportadora que lleva de a una hoja desde el arrume hasta el mecanismo de doblado.	
Eje resorte gancho	Este mecanismo utiliza un gancho el cual va montado sobre un eje resorte. El cual con ayuda de la banda transportadora y una guía genera un doblez en una pestaña del material ya cortado y marcado.	
Fuente: elaboración propia con base en [9], [11], [13], [17]		

2.3.2 Dispositivos para cortar papel o cartón. En cuanto a los dispositivos para cortar papel se destacan el suaje, el troquel rotativo y cabezales de corte. Los cuales se describen a continuación, algunas compañías han optado por desarrollar máquinas de corte multi funcional. Para ello, basta con realizar algunos ajustes en el menú de configuración del producto, y remplazar pocas piezas de la máquina, con la finalidad de realizar gran cantidad de cortes para hacer diferentes tipos de cajas. Este tipo de máquinas basan una parte de funcionamiento en los cabezales de impresión, pero con una cuchilla giratoria para cortar. Otros de los componentes, como las cizallas, se desplaza sobre un tornillo de potencia para posicionarse en el lugar donde se debe realizar el corte. Por último, las cuchillas verticales se posicionan de manera similar a las cizallas, pero se desplazan sobre rieles [18]–[20].

Algunas de estas máquinas son desarrolladas por compañía china AOPACK, la compañía multinacional Kolbus, y la polaca *Zemat Technology group*. En el cuadro 3 se pueden ver los diferentes sistemas usados por estos equipos para generar los cortes, y en el cuadro 4 se observan las máquinas que utilizan dichos mecanismos. El sistema de transporte utiliza una serie de rodillos, los cuales empujan la lámina por todo el sistema de corte. Estos se pueden apreciar en el cuadro 3, caracterizados por una coloración amarilla.[18]–[20]

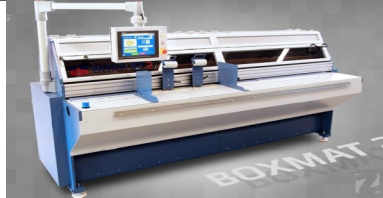
Otro método utilizado en la industria del cartón son los troqueles rotativos, utilizados para generar marcas y cortes con gran rapidez. Esto, debido a que el mecanismo de rodillos solo atrapa la lámina de cartón, y el sistema de corte permanece fijo. Por lo cual, no hay que esperar el accionamiento de otros sistemas para generar el corte y los pliegues. En este sistema uno de los rodillos tiene la matriz de corte y el otro está recubierto de un material blando para poder realizar el corte, evitando que las cuchillas dañen el otro rodillo y se pueda generar la suficiente presión sobre el cartón [21].

Cuadro 3. Caracterización de los elementos de corte la formadora de cajas.

Elementos que componen las máquinas de AOPACK, Kolbus y Zemat.		
Cizalla de corte	Cuchilla de corte vertical	Cuchilla de corte horizontal
		

Fuente: elaboración propia con base en AOPACK, “Corrugated Box Machine BM2508,” 2019 y Zemat Technology Group, “BOXMAT 2 - Semi-automatic box making machine.” 2020.

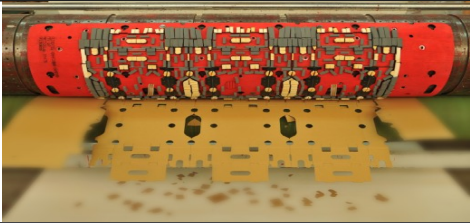
Cuadro 4. Máquinas multicorte de cartón.

Nombre	AOPACK Corrugated Box Machine BM2508	Boxmat 2 Semi-automatic box making machine
Imagen		
Dimensiones (mm)	3440 x 1850 x 1510	3400 x 1400 x 2000
Consumo	4Kw (230V)	3,5 KW (400V)
Rendimiento	Aprox. 400u/hora	Aprox. 700 U/ hora
Lamina	Máx. 2500mm x infi Mín. 200mm x 650mm	Máx. 2500mm x infinito Mín. 250mm x 550mm
Cuchillas vert.	4	3
Cuchillas hzo.	4	2
Cizallas	1	1

Fuente: Elaboración propia con base en [21],[22]

En lo que se refiere a los troqueles rotativos, estos son fabricados bajo pedido o para una configuración estándar que ofrezca el productor. Estos, están concebidos para la fabricación en masa, por lo tanto, al cambiar la forma del corte implica desmontar todo el sistema; por lo cual a estos equipos se debe realizar una puesta a cero y un mantenimiento programado. Algunas compañías que los fabrican son Troqueles Sánchez de España y Hadesheng Group de China. Este tipo de troqueles se pueden reconocer en dos tipos, los fabricados por mecanizado o molde, y los fabricados con insertos montados sobre una lámina de madera. Los cuales se pueden observar en el cuadro 5.

Cuadro 5. Tipos de troqueles rotativos.

Nombre	Imagen	Descripción
Troquel rotativo con insertos		Troqueles de gran tamaño, utilizados para la fabricación de cajas de cartón.
Troquel rotativo macizo		Troqueles de tamaño pequeño. Su función consiste en generar estampas y figuras específicas en materiales plásticos adhesivos.

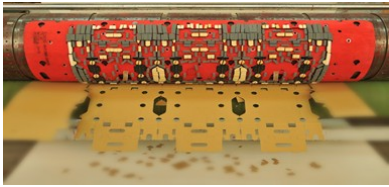
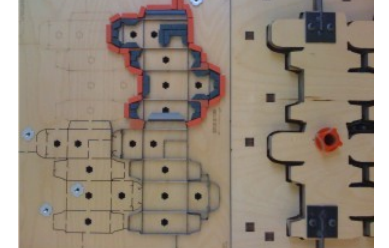
Troquel rotativo con cuchillas ajustables		Troqueles pequeños para generar cortes logitudinales, con la posibilidad de desplazar las cuchillas a lo largo del eje.
---	--	---

Fuente: elaboración propia con base en [23]–[26]

El ultimo mecanismo tiene un funcionamiento similar al del troquel rotativo, pero en este caso la matriz de corte no se encuentra montada sobre los rodillos. El troquel plano tiene la forma de una caja, en la cara superior se encuentran los elementos de corte, mientras que en la parte inferior se encuentra una lámina recubierta de un material espumoso. Para efectuar el corte en el medio de las dos tapas se aloja el material a trabajar. Después, se hace pasar el conjunto por medio de un par de rodillos recubiertos de un material blando o madera. Finalmente, el conjunto se destapa para extraer el material cortado, o solo se quita de la parte inferior [27][28]. Por último, se presenta el cuadro (cuadro 6) con las soluciones de corte para papel:

Cuadro 6. Mecanismos para cortar papel.

Nombre	Descripción	Imagen
Cizalla de corte	Utilizada para realizar cortes por medio de una fuerza perpendicular al material de corte.	
Cuchilla de corte vertical	Genera un corte transversal en el material, ya que estas cuchillas son rotativas y cortan el material a medida que este las atraviesa. En este caso las cuchillas se montan sobre un cabezal, el cual puede tomar diferentes posiciones y se puede desplazar verticalmente para dejar de cortar.	
Cuchilla de corte horizontal	Este tipo de cuchillas genera un corte atravesando el material. En este caso la cuchilla es la que atraviesa y no el material. Donde la cuchilla se desplaza sobre un riel montada en un cabezal.	

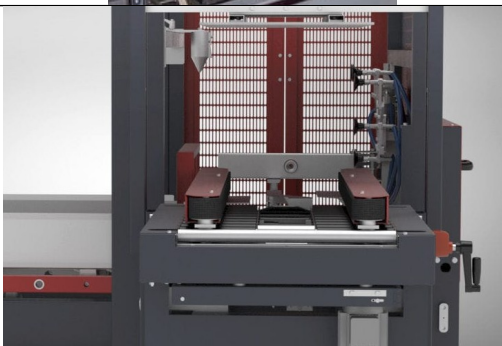
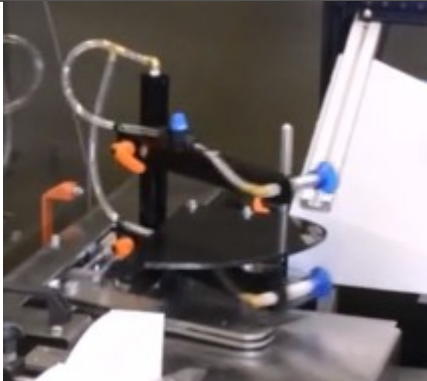
Troquel rotativo con insertos	Estos troqueles se caracterizan por ser de gran tamaño y generar el corte por medio de cuchillas. Estas cortan al entrar en presión un rodillo contra el otro mientras el material va atravesando por medio de ellos.	
Troquel rotativo macizo	Su funcionamiento es similar al troquel anterior. Sin embargo, la diferencia radica en la forma del corte que se graba directamente en el rodillo y es de menor tamaño.	
Troquel rotativo con cuchillas ajustable	Es un eje que monta una serie de cuchillas que se desplazan por el mismo. El cual genera el corte al atravesar una lámina por en medio de los dos rodillos.	
Troquel plano	El troquel plano posee insertos, los cuales generan un corte en el material cuando este atraviesa por medio de dos rodillos. Los cuales ejercen presión sobre el material y la matriz.	

Fuente: Elaboración propia con base en[18]–[26]

2.3.3 Dispositivos formadores de cajas. Este tipo de dispositivos toman la lámina doblada y cortada para darle una forma tridimensional. Algunas de estas máquinas utilizan diferentes mecanismos para realizar el proceso, los cuales se suelen dividir en dos, uno que se forma por embutido y el otro por medio de un brazo con ayuda de un sistema de guías. El formado por embutido, se desarrolla con una lámina que permite darle forma al fondo de la caja, ya que debe ser una cara plana y no moldeada por varias pestañas. El funcionamiento es similar al de una máquina de embutido de lámina, pero con una matriz que permite el fácil deslizamiento del cartón. Un ejemplo de estas máquinas es el modelo “Cobra Cartón Forming Machine” de Bosch[29].

El otro mecanismo está compuesto por sistemas de brazos y rieles que pueden tener varias configuraciones, las cuales dependen del fabricante y el tipo de caja a formar. Por lo general funcionan con ventosas neumáticas, que toman una o dos caras de la caja. La forma se da cuando el brazo vuelve a su posición inicial y un riel ayuda a moldear, o cuando parte del brazo se dobla perpendicularmente para dar la forma cubica. El doblar de las pestañas se origina al empujar la caja por una guía y otros mecanismos generan el cierre de las pestañas y sellarlas. En el cuadro 7 se muestran diferentes tipos de estos mecanismos desarrollados por distintas compañías.[30]–[32]

Cuadro 7. Mecanismos formadores de cajas.

Nombre	Descripción	Imagen
Cobra Cartón Forming Machine	Máquina con mecanismo de formado similar al embutido con troquel. Pero con un molde hueco y que permite el fácil desplazamiento del material.	
DNC Formadora de cajas BE	Su sistema de formado, se compone de mecanismos de brazo con actuadores neumáticos y ventosas. La función de la ventosa es tomar una cara del cartón para mantenerla vertical, y que los otros mecanismos doblen las pestañas inferiores y empujen la cara suelta dándole la forma cubica.	
Lantech Formadora de cajas automática CI-2000	El funcionamiento del mecanismo de Lantech es similar al de DNC. Pero en este caso, las ventosas toman dos caras de la caja, la extraen de la pila para que el brazo con ventosas se doble perpendicularmente y le dé la forma de prisma rectangular. El doblez de las pestañas restantes se dobla con mecanismos operados por actuadores neumáticos	
Keymac formadora de cajas KCLF	El mecanismo utilizado por Keymac, pose un brazo que rota sobre su propio eje. Este utiliza ventosas para tomar una cara de la caja, la desliza hasta el siguiente mecanismo de corredera, el cual la empuja hacia unas guías que ayudan a darle la forma final.	

Fuente: Elaboración propia con base en [29]–[32]

3. SELECCIÓN ESTRUCTURA DE PAPEL

Con respecto al diseño del mecanismo, se realizó un proceso investigativo con el cual se determinó que tipo de torre y en especial que pieza debe fabricar el dispositivo para lograr construir la torre en la competencia. Por consiguiente, para diseñar y seleccionar la pieza **genérica ideal se realizó un estudio experimental** basado en una serie de pruebas a determinadas piezas prefabricadas a partir del papel y reglas que especifica la competencia (SDC). De tal modo, que esta pieza se convierte en el primer paso para el diseño del mecanismo, que tiene como función realizar parte del proceso de forma automatizada en el evento del SDC.

En cuanto a la fabricación en serie de la pieza genérica que conforma el cuerpo de la torre, se enfocó en las especificaciones de diseño del reglamento del SDC. A las anteriores, se suman otras que son necesarias para delimitar el problema y reducir variables que facilitan encontrar una solución, estas se aprecian en la tabla 1.

Tabla 1. Especificaciones para la construcción de la torre.

Especificación	Reglamento SDC	Propias
Hoja carta o A4 de 20 lb	X	
Máx. 100 hojas	X	
Solo dobleces y cortes	X	
Unión mecánica	X	
Solo un tipo de elemento		X
Ensamblaje tipo fichas		X

Fuente: Elaboración propia.

Las directrices del reglamento, se mencionan en la regla número 10: “El dispositivo debe fabricar solo y de manera autosuficiente, una torre con hojas de papel de 20 lb, de tamaño A4 u 8 ½ x 11” carta estándar. El papel no puede ser modificado antes de ser cargado y el dispositivo solo lo puede doblar, cortar y unir mecánicamente hojas individuales de papel. No se pueden agregar sustancias a la hoja de papel antes o después de estar en contacto con el dispositivo”[2].

Además, con las dos especificaciones adicionales se establece que la estructura se debe armar con solo un tipo de bloque ensamblando uno sobre otro; de manera similar a los bloques didácticos o piezas LEGO®. Los sólidos geométricos probados fueron prismas rectangulares y triangulares de papel con ranuras de acople. Las pruebas se realizaron hasta que se la pieza logró mantener por sí sola su forma, cuando el doblez generó una deformación permanente y con suficiente sencillez en la manipulación.

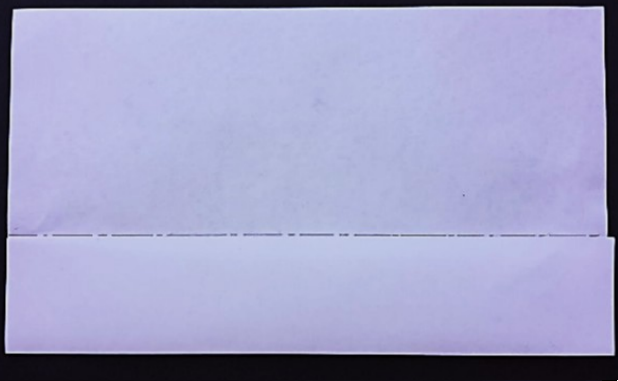
3.1 PROCESO DE SELECCIÓN EXPERIMENTAL PARA LA TORRE

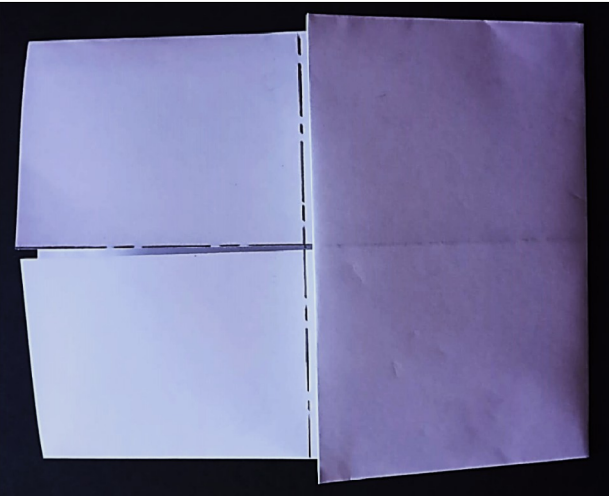
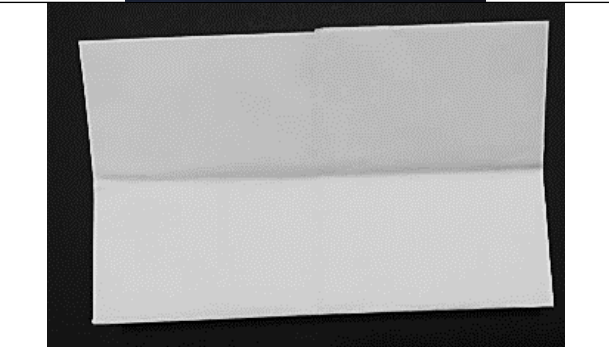
Con respecto a la selección de la torre se hizo una serie de pruebas clasificatorias con el fin de determinar la estructura adecuada que cumpla con los requerimientos de la competencia (SDC). A continuación, se describen tales pruebas:

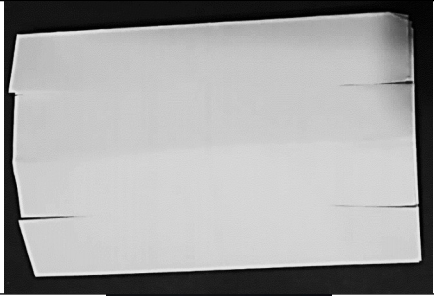
- Acople entre piezas con fabricación física.
- Ensamble por medio del software CAD.

3.1.1 Prueba de ensamblaje físico: aquí se desarrolló la construcción de torres de dos pisos, en la cual se comprobó la facilidad de ensamblaje y la capacidad de uniformidad de las piezas. Primero, se definió una forma estándar de doblar, cortar y formar el papel para los dos tipos de prismas utilizados que fueron el rectangular y el triangular. A cada pieza creada se le asignó un nombre de acuerdo a la forma del prisma y a la altura en milímetros. Donde **P** significa Prisma, **T** Triangular, **R** Rectangular, por ejemplo: **PT 108**, es un prisma triangular de 108 mm de altura. Este procedimiento se evidencia en los cuadros 8 y 9.

Cuadro 8. Proceso estándar para formar las piezas de papel rectangulares.

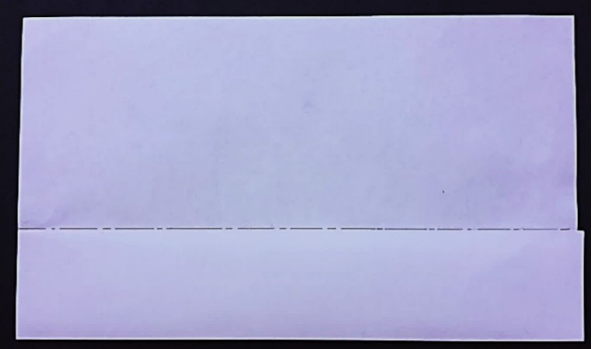
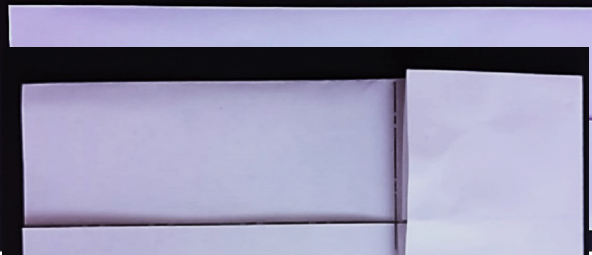
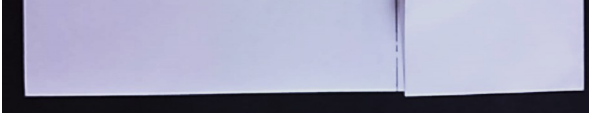
No	Descripción	Ilustración de la tarea
1	Primero se toma la hoja de papel. Se dobla un extremo hasta la mitad de la hoja.(Se puede por cualquier lado paralelo).	
2	Luego se dobla el otro extremo, como se observa en la imagen.	
3	Después, se toma la hoja por el lado más corto y se dobla la pestaña hasta la mitad.	

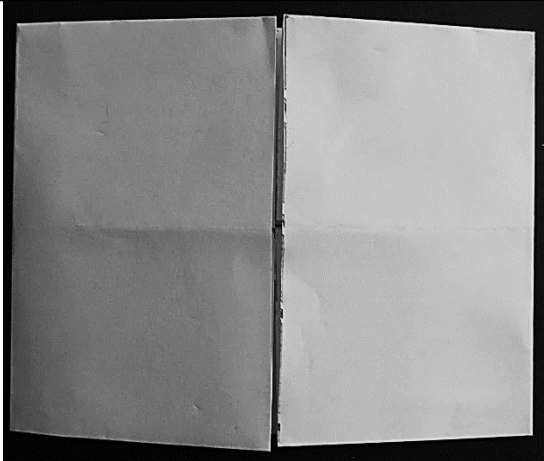
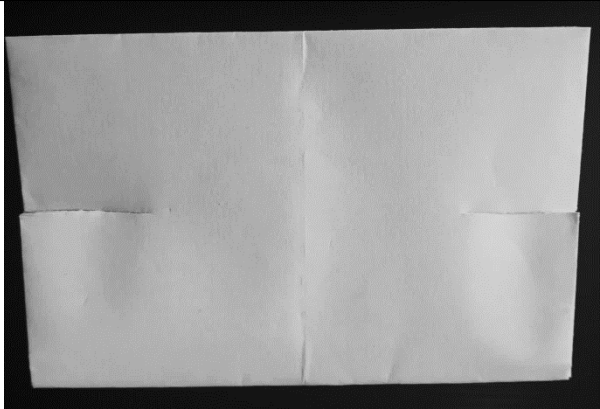
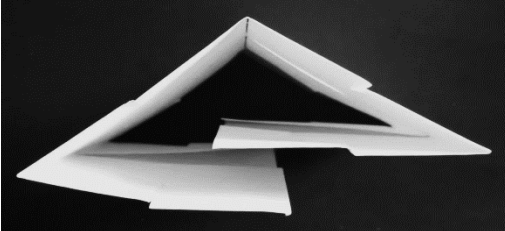
4	Se toma la pestaña ya doblada, y se dobla hacia el interior. Quedando a la mitad de la longitud inicial.	
5	Se continua doblando la pestaña nuevamente hacia el interior con la finalidad de generar tres dobleces.	
6	Nuevamente se toma el papel por el lado más largo doblando a la mitad. Después, se abre y se dobla en el sentido contrario, finalmente se deja en la posición del paso 5.	

7	Después, se realizan los cuatro cortes de $\frac{1}{4}$ de la altura, en $\frac{1}{4}$ del ancho medido desde cada extremo. Tal como se muestra en la imagen.	
8	Por último, se da la forma del prisma rectangular al papel. Para ello, se busca el centro interior de la figura, se va expandiendo con cuidado y a la vez se van reafirmando las aristas.	

Fuente: elaboración propia.

Cuadro 9. Proceso estándar para formar las piezas de papel triangulares.

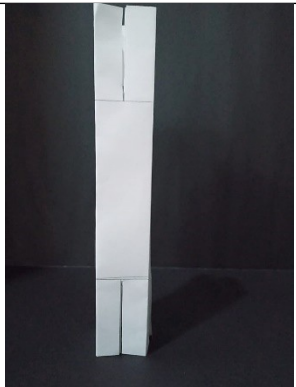
No	Descripción	Ilustración de la tarea
1	Primero se toma la hoja de papel. Se dobla un extremo hasta la mitad de la hoja. (Se puede por el lado de mayor o menor longitud).	
2	A continuación, se dobla el otro extremo, como se observa en la imagen.	
3	Después, se toma la hoja por el lado más corto y se dobla la pestaña hasta la mitad.	

4	Luego, se toma el otro extremo y se dobla hasta enfrentarla con la otra pestaña	
5	Seguidamente estas pestañas se doblan al tiempo hacia el interior.	
7	Después, se realizan dos cortes de $\frac{1}{4}$ de la altura, en $\frac{1}{2}$ del ancho medido desde el extremo.	
8	Se toma la hoja, se sujeta por el lado más largo de tal forma que las pestañas se sobrepongan y se da la forma de prisma triangular. Por último, se rectifican las aristas generando presión de vértice a vértice.	

Fuente: elaboración propia.

Dentro de las características generales más importantes se encuentran: las piezas solo mantienen la forma con los dobleces realizados, porque estos deforman el papel plásticamente generando una deformación permanente evitando que la hoja vuelva a su forma original. En cuanto a la profundidad de los espacios de las uniones, se decide por un $\frac{1}{4}$ de la propia altura de cada elemento en ambos costados, excepto en la pieza PR162 donde se recurrió a $\frac{1}{4}$ de la altura de la pieza PR108, lo que equivale a 27mm. Se eligió la medida de un cuarto ya que permite a las piezas ensambladas que en el interior cumplan la función de piezas de unión. Para ello, se probaron seis tipos de modelos diferentes divididos en dos grupos: prismas triangulares y prismas rectangulares. En el cuadro 10, se presenta la caracterización de los módulos con nombre, dimensiones, número de dobleces, descripción e imagen.

Cuadro 10. Piezas para la construcción de torres de papel.

Pieza	Dimensiones (mm)	No. dobleces	Descripción	Imagen
PR21 6	216x35x35	7	Esta pieza tiene la mayor altura de las seis, pero es demasiado débil. Presenta fácil pandeo debido a que la hoja se dobló a lo ancho sin doblez adicional y por la altura de la misma. La parte donde se realizó el corte para el acople se volvió muy maleable y generó facilidad de pandeo causando dificultad en el proceso de ensamble.	
PR10 8	108x35x35	9	Esta pieza es la de menor altura, pero es la más fuerte. Presenta mayor resistencia al pandeo gracias a que la hoja es doblada simétricamente a la mitad y por la altura de la misma. La parte donde se realizó el corte para el acople es resistente al doblamiento lo que facilitó el proceso de ensamblaje.	

PR13 9	139 x 27 x 27	9	Es la más esbelta de las fichas. Por lo tanto, se dobla con facilidad. Además, el sistema de unión es muy delgado y largo, lo cual dificulta el ensamblaje.	
PR16 2	162x35x35	9	Esta pieza, es la intermedia entre la PR216 y PR108. Se obtuvo de la combinación de técnicas del doblado del papel de las dos piezas mencionadas, generando que las pestañas de las uniones no se doblen tan fácil como el PR216.	
PT108	108x70x70	5	El ensamble de estas piezas es complejo porque su estructura es débil y al aplicar un poco de fuerza sufre deformación. Lo anterior se debe a su forma triangular y la técnica del doblado del papel.	
PT139	139x54x54	5	Este prisma triangular posee gran altura, pero cuenta con las mismas falencias de acople del PT108. En cuanto a la aplicación de fuerza este permite una mayor resistencia a la hora del ensamblaje.	

Fuente: elaboración propia.

En la prueba solo se ensamblaron dos pisos de cada torre, con el fin de mitigar el desperdicio del papel. Para la selección se aplicó la matriz de decisión presentada en el cuadro 11, en la cual se evaluaron 3 ítems que son: el ensamblaje, el número de dobleces y la uniformidad; asignando a cada característica un puntaje, los cuales suman 100 puntos como máxima calificación. De

manera que, las fichas con un puntaje mayor a 50 avanzaron a la siguiente ronda como puntaje aceptable. Cada criterio de evaluación se describe a continuación:

- **Ensamble:** se evalúa la facilidad de unión entre piezas, manteniendo una posición estable después de ser acopladas. Se evaluó al momento de realizar el ensamble y es una medida cualitativa.
- **Número de dobleces:** es la cantidad de pliegues realizados a cada pieza para alcanzar su forma tridimensional, donde el promedio es de 7,3; obtenido de la suma de los dobleces del cuadro 10 y dividido en seis, que es la cantidad de piezas evaluadas.
- **Uniformidad:** se refiere a que la unión de las piezas forme un solo cuerpo presentando un mínimo de desviaciones en los puntos de unión, se realizó por medio de la inspección visual.

Cuadro 11. Matriz de evaluación aplicada a las torres de 2 pisos.

Característica	Ponderación	Pieza					
		PR216	PR108	PR139	PR162	PT108	PT139
Ensamblaje	45	1	1	-1	1	-1	-1
No. Dobleces	20	0	-1	-1	-1	1	1
Uniformidad	35	0	1	0	1	0	0
Puntaje	100	45	60	-65	60	-25	-25

Fuente: Elaboración propia

Se tuvo en cuenta para la evaluación de los ítems los valores de -1 el cual no cumple respecto al parámetro evaluado, el 0 se refiere al nivel intermedio dentro de la media, y el 1 cumple con un alto grado el criterio de evaluación. El puntaje se da al multiplicar el valor evaluado de menos uno, cero o uno, por el valor de la ponderación de cada característica, por último, se suman los valores de cada columna resultando así la ponderación de cada pieza.

Las torres construidas con las piezas evaluadas en el cuadro 11 se encuentran en el ANEXO A, el cual está compuesto por 5 ítems en el siguiente orden: PR108, PR216, PR162, PT108 y PT139. Es de resaltar que, la construcción del modelo PR 139 no fue posible, debido a que no se tienen imágenes de su proceso.

Los dos modelos que aprobaron la prueba con un puntaje de 60, son el PR108 y el PR162, se muestran en las figuras 10 y 11. Estas piezas tienen dos características en común: son prismas rectangulares y tienen bases con las mismas dimensiones. Por consiguiente, su única diferencia radica en la altura y rigidez.

Figura 10. Construcción módulo PR108



Fuente: elaboración propia.

Figura 11. Construcción módulo PR162



Fuente: elaboración propia.

3.1.2 Prueba de construcción en CAD. En esta se elabora un modelo CAD de los prototipos que se aceptaron en la prueba de acople con piezas de fabricación física. Lo anterior, con la finalidad de observar la adaptabilidad de la pieza en distintos tipos de torres como parte de la primera fase del SDC[2] la torre debe superar las siguientes pruebas clasificatorias:

- Altura: se debe construir una torre lo más alta posible en un tiempo de 10 minutos.
- Velocidad: se debe ensamblar una torre que debe alcanzar 1,5 m en 5 minutos.

- Resistencia: dicha construcción debe soportar el peso que los competidores decidan aplicar [2].

Para la calificación de estas pruebas siempre se realiza la medición de la altura así esta se derrumbe con el fin de obtener una calificación o puntaje y así poder avanzar. En la segunda fase, se debe alcanzar una altura de 1,5 m que soporte una masa de 0,5 kg suspendida a la misma altura y si es posible levantarla. Igualmente gana el equipo que alcance la mayor altura, o toque la masa suspendida o en su defecto, quien la levante según el reglamento de la ASME para SCD [2].

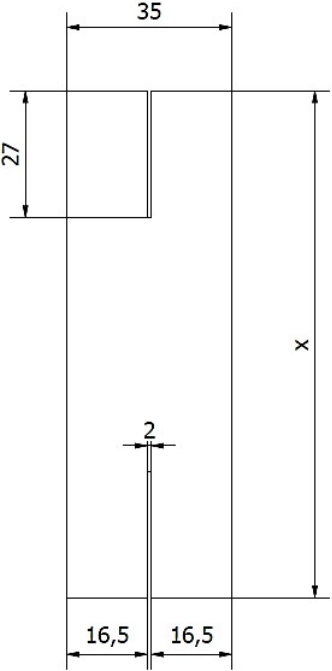
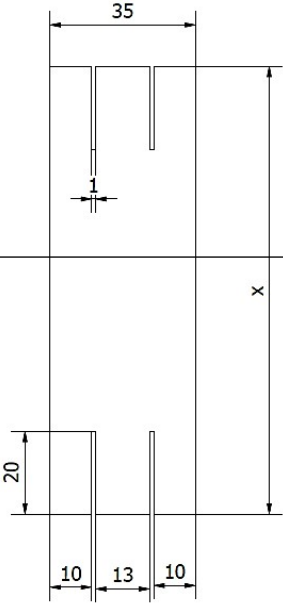
Por tal razón, para la selección de la pieza, se tiene en cuenta la información del reglamento y se considera generar torres estables, con una altura superior a 1,30 m y construcción versátil que permita obtener un puntaje alto en las tres competencias y pasar a la segunda ronda. Para esto las condiciones de evaluación son las siguientes: mayor área de contacto con el suelo, área base uniforme en toda la estructura, variedad de construcciones. Es de aclarar que el diseño de las piezas M1, M2 y M3 se evaluó en paralelo con software CAD y con pruebas físicas con un prototipo para comprobar condiciones de aprietes entre las fichas y estabilidad. En el cuadro 12 se presentan los modelos de las piezas trabajados en esta fase con un plano visto desde la cara lateral y una breve descripción de cada pieza.

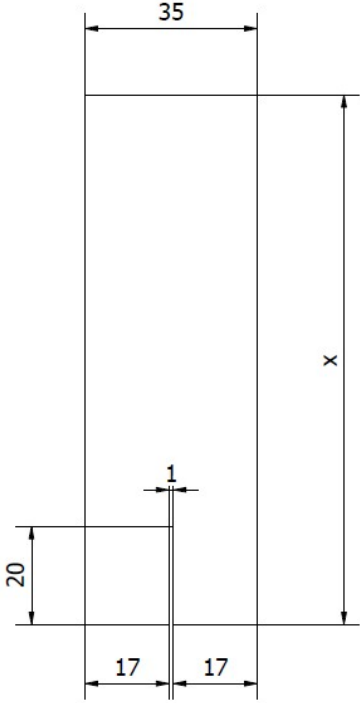
3.1.2.1 Análisis del modelo M1. Este inicialmente requirió de modificaciones, porque presentó problemas de ensamblaje en las ranuras debido a que eran demasiado anchas y no generaban el apriete necesario para mantenerse en su lugar originando inestabilidad en la torre. Esto se evidencia en la etapa anterior, por medio de la construcción física, que se aprecia en los ensamblajes del anexo A y las figuras 10 y 11. Por lo tanto, se procedió a generar la construcción de la torre con otro modelo y no se realizó la etapa del software CAD.

3.1.2.2 Análisis del modelo M2. Para solucionar el problema anterior, se presenta el modelo M2. En éste cada unión es ocupada por solo una ficha, por lo que no requiere alinear tres piezas para realizar un acople, sino que es suficiente a través de un encaje entre la ficha a insertar y la base. Además, se redujo la ranura a 1mm de espesor para tener un mejor ajuste entre las fichas. Este modelo se aplicó a las fichas PR162. La reducción de la ranura se seleccionó por medio de medición en procedimiento experimental. Originalmente el diseño incluía una ranura ancha para facilitar el ensamblaje, pero generó problemas de inestabilidad, debido a que las piezas no se mantenían en su lugar. En la práctica, el modelo M2 presento problemas de inestabilidad debido a que sus puntas se doblaban fácilmente al unirse entre ellas, esto se puede apreciar en la figura 12.

Cuadro 12. Presentación de los modelos de ficha utilizados en la segunda fase.

Modelo	Imagen	Características
--------	--------	-----------------

M1		Se realizó un corte en el centro de la cara, con un ancho de 1,4mm y una profundidad de 27 mm. La longitud x varía entre 108 mm y 162 mm.
M2		Las ranuras se encuentran a 10 mm de la cara perpendicular. Tienen 1 mm de ancho y su profundidad es de 20 mm. La longitud x varía entre 108 mm y 162 mm.

M3		La ranura de cada cara se encuentra centrada, y solo se ubica en el extremo de la pieza, su anchura es de 1 mm e ingresan 2 piezas por ranura en el extremo limpio. La longitud x varía entre 108 mm y 162 mm.
----	--	--

Fuente: elaboración propia.

Figura 12. Ensamble entre piezas PR162-M2, con ranura de 1mm de ancho y 20mm de profundidad.



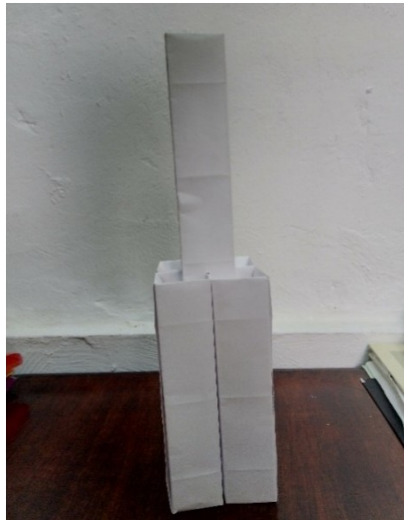
Fuente: elaboración propia.

Por tal razón, se optó por modificar el modelo M1 incluyendo cortes solo por un extremo de la pieza y con una profundidad de ranura de 2 cm. Con un ancho de la misma de 1 mm, ya que el espesor promedio de las piezas formadas es de 0,5 mm, lo cual permite generar un apriete entre

las fichas. Lo anterior dio origen al modelo M3 cuyo funcionamiento práctico no presenta inconsistencias en cuanto a ensamblaje y estabilidad. A pesar de ser una pieza hermana del modelo inicial, no necesita unión entre ranuras y se puede acoplar solo de a dos piezas.

3.1.2.3 Análisis del modelo M3. Una pequeña construcción del modelo M3 se evidencia en la figura 13, el cual observado desde otro punto de vista, puede facilitar el diseño del dispositivo encargado de la construcción de la torre. Lo que directamente afectaría la disminución de los costos, la complejidad y espacio ocupado por dicho mecanismo. Sobre todo el volumen debido a la restricción de espacio que plantea el reglamento de la competencia para el transporte del mecanismo con baterías y herramienta necesaria para reparaciones o ensamblajes durante la competencia, y que en su totalidad es de 50cm x 50cm x 50cm [2].

Figura 13. Ensamblaje físico de 5 piezas PR162-M3, con el fin de comprobar su estabilidad y el apriete entre las piezas.



Fuente: Elaboración propia.

3.1.2.4 Análisis modelado CAD. En cuanto a los diseños de ensamble elaborados en el software CAD, se realizó una construcción cuyo objetivo fue alcanzar una altura de por lo menos 1,30 m para observar la versatilidad de los elementos PR108 y PR162. De las cuales se lograron modelar: una torre de PR108-M2, tres de PR162-M2 y dos de PR162-M3. Estas construcciones se muestran en el ANEXO B. Del mismo modo, en la tabla 2, se presentan las alturas alcanzadas y cantidad de piezas utilizadas por cada modelo.

Se concluye que, la pieza tipo PR162 cuenta con ventajas sobre el PR108, como lograr mayor altura al unirlos, sin importar si es el modelo M2 o M3 puesto que la altura del primer elemento es de 162mm, mientras que el otro de 108mm. Lo cual permite que se gane en área base del conjunto, porque la PR162 permite alcanzar el objetivo con menos elementos en vertical. Sin embargo, el modelo M3 es la mejor opción para la competencia debido a su fácil ensamble, solidez en conjunto y presencia de uniones con deformaciones considerables.

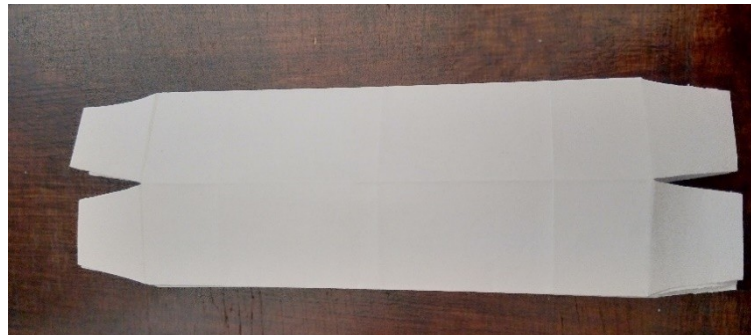
Tabla 2. Datos sobre las torres construidas.

Modelo torre	Altura(mm)	Cantidad piezas
PR108-M2-E01	1535	93
PR162-M2-E01	1868	91
PR162-M2-E02	1746	94
PR162-M2-E03	1381	89
PR162-M3-E01	1013	92
PR162-M3-E02	1439	95

Fuente: elaboración propia.

Para la solución de los problemas hallados en los modelos de la primera prueba que no se encontraban sellados, se ideó una forma práctica y sencilla para realizar el cierre, generando solidez y uniformidad en la pieza. Esta consiste en hacer un corte en los extremos de la pieza y doblarlos hacia adentro cuando la ficha ya esté formada, tal como se observa en la figura 14. Cabe resaltar que todas las piezas usadas en esta fase contaban con esta característica que facilitó la unión de las piezas.

Figura 14. Pieza antes de ser formada en 3D, con las pestañas ya cortadas para ser dobladas.



Fuente: elaboración propia.

En el caso particular de la prueba de ensamble CAD, en este apartado se resume un proceso de diseño hasta obtener una pieza funcional que se pueda fabricar en masa. El diseño de las piezas para construir la torre no se detalló a profundidad puesto que esta no es la finalidad de este trabajo, pero sí la raíz principal del problema. Por lo que, hay que tener presente que las características de la pieza son fundamentales para el diseño de la máquina que las va a fabricar. La selección de la pieza se realiza basado en el análisis con la matriz de decisión del cuadro 13, en el cual se evalúan los siguientes ítems:

- **Altura alcanzada:** se evalúa la altura alcanzada en el software CAD. Donde la media de altura es de 1497 mm obtenida en los resultados de la tabla 2.
- **Cantidad de piezas utilizadas:** se evalúa la cantidad de piezas utilizadas con respecto a la media que de 92 piezas.
- **Solidez:** Se evaluó al realizar presión sobre un ensamble físico con la pieza indicada. Media cualitativa.

- Ensamble: Se evaluó la facilidad de insertar una ficha con la otra mediante un ensamble físico. Media cualitativa.

Cuadro 13. Matriz de decisión para selección de la pieza a fabricar.

Característica	Ponderación	Pieza					
		PR1 08 M2- E01	PR1 62 M2- E01	PR1 62 M2- E02	PR1 62 M2- E03	PR1 62 M3- E01	PR1 62 M3- E02
Ensamblaje	35	-1	-1	-1	-1	1	1
No. piezas	30	-1	1	-1	1	0	-1
Altura	20	1	1	1	-1	-1	0
Solidez	15	0	-1	0	0	1	1
Puntaje	100	-45	15	-45	-25	25	20

Fuente: elaboración propia.

En esta prueba, la mayor puntuación la obtuvo el modelo PR163 M3-E01, con veinticinco puntos. Aunque la altura alcanzada con los modelos de la pieza MR163-M3 no es la mayor, pero da facilidad de ensamblaje y solidez, lo que le da mejor estabilidad a la torre.

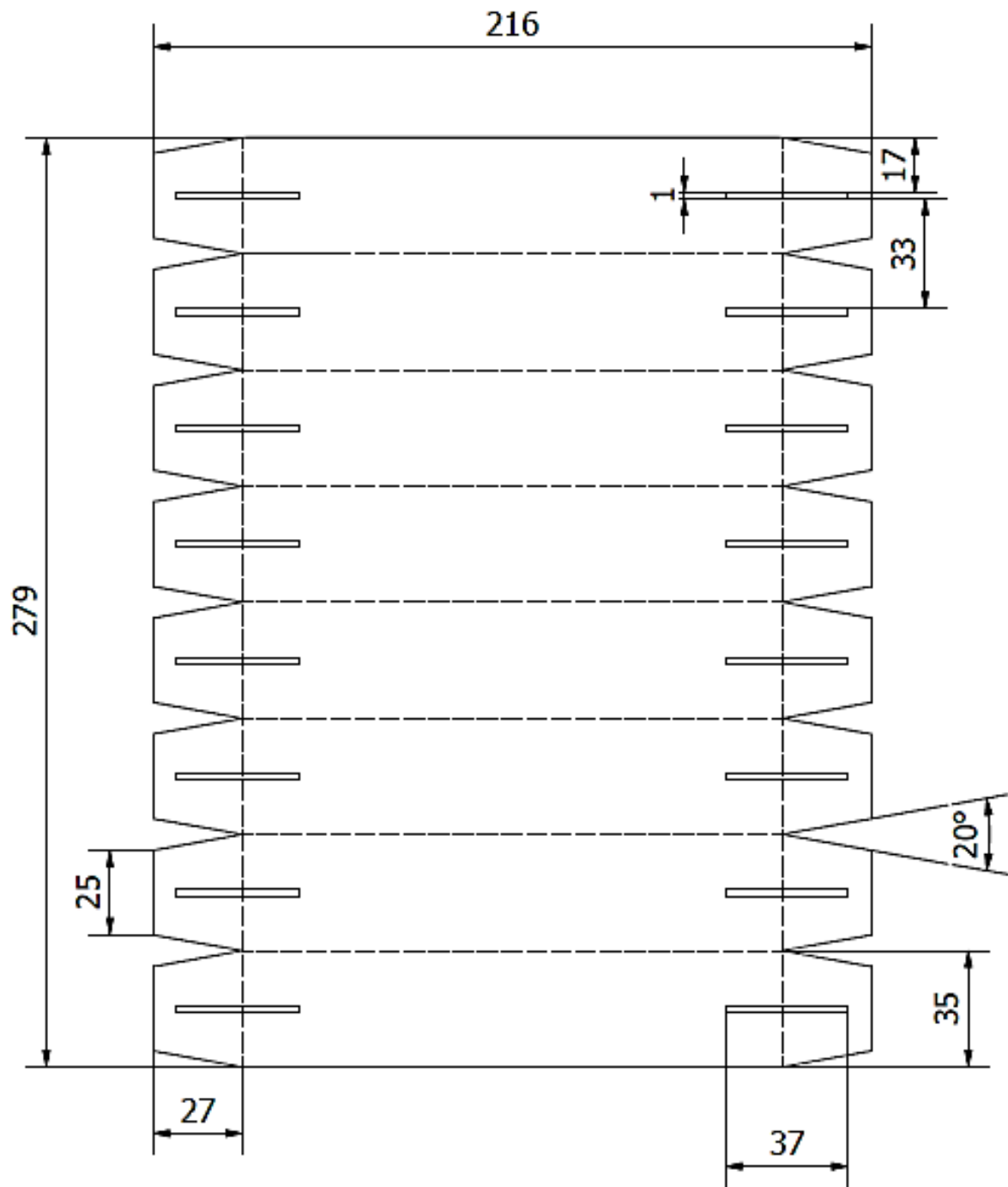
3.2 PRODUCTO FINAL Y ESPECIFICACIONES DE FABRICACIÓN DE LA PIEZA

En esta sección se exponen las especificaciones y procesos que se deben realizar para la obtención de la pieza PR162-M03. Para esto se realiza un croquis de la pieza con las medidas necesarias que se puede observar en la figura 15, en donde las líneas punteadas indican los dobleces, y las líneas continuas son cortes. La cual se cambió de forma en el proceso de diseño por la complejidad de la fabricación. Esto, también facilita las tareas que tiene que realizar el dispositivo, que son formar la pieza y doblar las pestañas hacia el interior reduciendo el número de operaciones.

El croquis de la pieza con las modificaciones de la etapa de diseño se presenta en la figura 16. Además, se estableció el orden en el que la máquina debe ejecutar las tareas para darle forma al papel y generar la ficha. Estas tareas se presentan en el cuadro 14, donde se describe la tarea con la imagen que muestra cómo debe quedar el material. Con la ayuda del croquis se establece en qué lugar se debe realizar el corte o el doblez correspondiente de cada pieza.

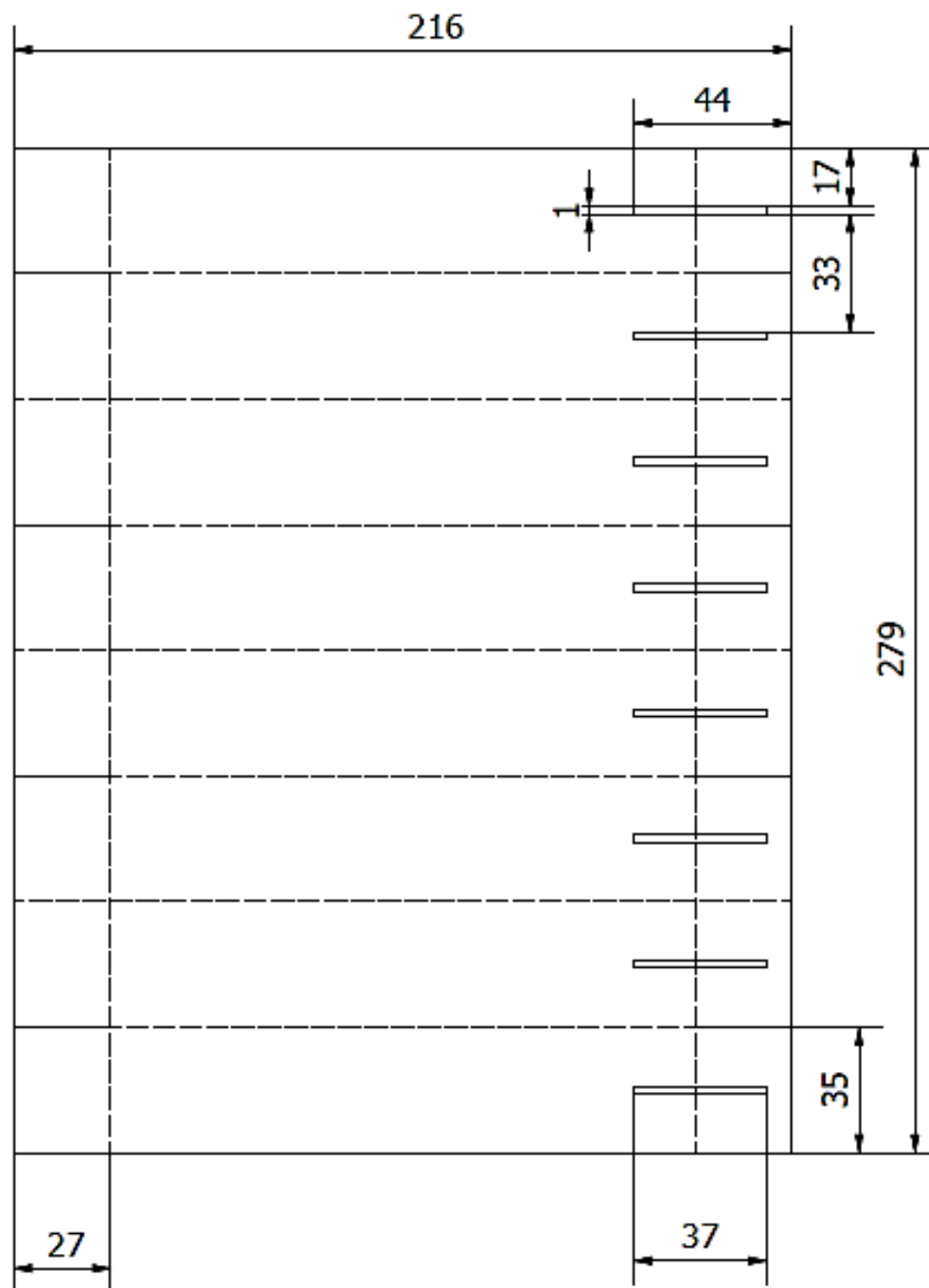
Para finalizar, en esta fase del proyecto se definen las diferentes especificaciones de la pieza, que permita establecer los parámetros de diseño de la máquina en función de los objetivos planteados en el SDC. En este apartado se resume el proceso del diseño de la estructura de papel más adecuada, teniendo en cuenta que la base de dicha estructura es la pieza. Por tal razón, si no se tiene una ficha adecuada, no se puede construir una torre apropiada a las necesidades de la competencia.

Figura 15. Croquis de la pieza PR162-M03.



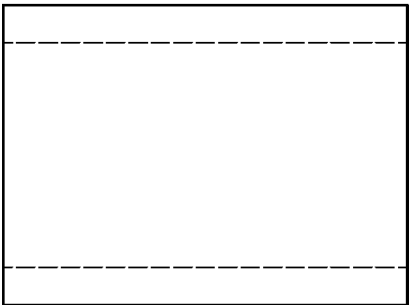
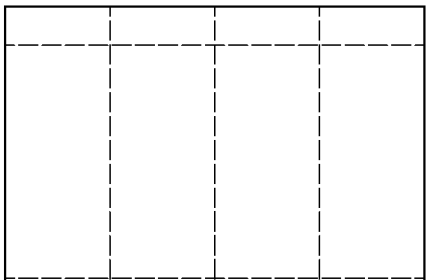
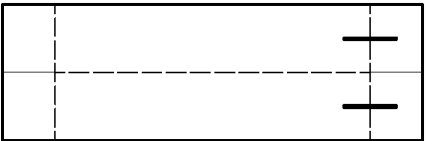
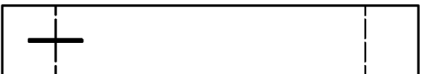
Fuente: elaboración propia.

Figura 16. Croquis de la pieza PR162-M3, con modificaciones en la etapa de diseño.



Fuente: elaboración propia.

Cuadro 14. Tareas a realizar para formar la ficha PR162-M3

No.	Tarea	Descripción	Ilustración de la tarea
1	Marcas	Marcas en los laterales para el doblez de las pestañas externas.	
2	Doble	Doblar la hoja en cuatro partes iguales con solo 3 pliegues.	
3	Cortes	Se realizan los cortes de las ranuras y las pestañas, para poder realizar el conformado.	
4	Conformado en 3D	Se forma el prisma rectangular.	
5	Doblado de pestañas	Se doblan las pestañas externas hacia el interior para finalizar la ficha.	

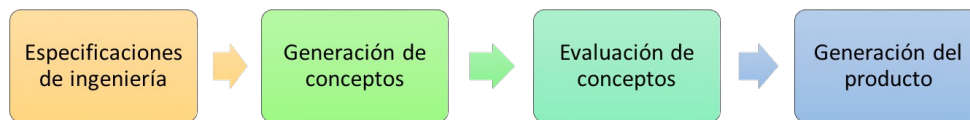
Fuente: elaboración propia.

4.DISEÑO CONCEPTUAL

4.1 METODOLOGÍA

Para elaborar el proyecto se aplicó la metodología de diseño basada en la metodología que planteó David G. Ullman. Teniendo en cuenta que el proyecto se aplica para dar una solución a un problema planteado por la ASME, se exploró la solución en la búsqueda de patentes y máquinas que realizan tareas similares a las requeridas por el SDC. A partir de estas se generó un dispositivo que cumpliera con las especificaciones de diseño dadas por el concurso y la pieza para construir la torre que es el objeto final de la máquina. En la figura 16 se presentan las etapas de diseño y las subetapas de la metodología se presentan en la tabla 3.

Figura 17. Etapas del proceso de diseño de Ullman



Fuente: elaboración propia con base en la metodología de Ullman[33].

Tabla 3. Subetapas del proceso de diseño de Ullman.

Especificaciones de ingeniería	Generación de conceptos	Evaluación de conceptos	Generación del producto
Identificación de la necesidad	Estado del arte	Factibilidad	Detalle
Aceptación del problema	Concepción del sistema		Manufactura
Especificaciones			

Fuente: elaboración propia con base en la metodología de Ullman[33].

4.2 ESPECIFICACIONES DE INGENIERÍA

La metodología de diseño se desarrolló de la siguiente manera: primero se **identificó la necesidad** la cual se presenta al inicio del trabajo con el planteamiento del problema donde se indican las causas y porque se quiere diseñar el dispositivo; en segundo lugar, la **aceptación del problema** donde se establecen los objetivos, que son la ruta para cumplir con el diseño del mecanismo, y en tercera instancia las **especificaciones de ingeniería** las cuales están definidas en el reglamento de la competencia.

El reglamento de la ASME establece las reglas que el dispositivo debe cumplir para poder competir. Estas se presentan en el cuadro 15, en el cual se expone lo propio de la competencia

con su respectiva especificación de ingeniería. Además, se incluyen las especificaciones de las operaciones que tiene que realizar la máquina para fabricar la pieza que compone la estructura de la torre. Con las dimensiones con las que debe quedar la pieza después de cada operación. Aquí radica la importancia de primero haber desarrollado el análisis y selección de pieza que va formar la torre en la competencia. Estas especificaciones se presentan en el cuadro 16.

Cuadro 15. Especificaciones de la competencia y de ingeniería para el diseño del dispositivo.

	Especificaciones de la competencia	Especificación de ingeniería
1	El dispositivo, las herramientas y las baterías se deben transportar en una caja con dimensiones internas de 50cm x 50cm x 50cm.	Volumen máx. 50cm x 50cm x 50cm, para cargar los componentes del dispositivo.
2	El dispositivo debe mantener contacto con el piso y no puede ser asegurado.	N/A
3	Toda la energía del dispositivo debe ser provista por baterías recargables. Otras formas de almacenamiento de energía, tal como resortes precomprimidos o gas comprimido. No son permitidos.	Tipo de corriente directa (DC).
4	El área de competición es de 2m x 2m donde debe ser ubicado el dispositivo y construir la torre.	Área 2m x 2m, para construcción y despliegue del dispositivo.
5	Se dispone de un (1) minuto para retirar el dispositivo de la caja y ponerlo en el área de competición y otro minuto para conectar la potencia al dispositivo.	Tiempo de ensamblaje en competencia 2 minutos.
6	El papel que se debe utilizar es tamaño carta o A4 de 20lb, sin modificaciones antes de entrar a la máquina.	Dimensiones del papel A4 o Carta.
7	El papel solo puede ser cortado, doblado y unido mecánicamente y solo una hoja a la vez.	Solo una hoja por proceso a realizar.
8	Ningún componente del dispositivo debe superar los 50 cm de altura.	Atura máxima del dispositivo 50 cm desde el piso.
9	El papel se debe cargar manualmente con una hoja a la vez.	Una hoja máxima en la entrada del dispositivo.
10	Panel de control para activar el dispositivo.	N/A
11	El tiempo de construcción máximo para una torre de 1.5m es de 5 minutos.	Tiempo construcción prueba de velocidad máx. 5 min.
12	Para la prueba de fuerza se disponen de 10 minutos para la construcción de la torre y la torre más alta.	Tiempo de construcción prueba de fuerza máximo 10 minutos.

Fuente: Elaboración propia con base en American Society of Mechanical Engineers, "American Society of Mechanical Engineers Student Design Competition," 2019.

Cuadro 16. Especificaciones obtenidas del capítulo de construcción de torres y adicionales.

	Especificaciones de construcción de torres	Especificación de ingeniería
1	La pieza necesita de 3 dobleces, equidistantes en la misma dirección a 180°.	3 dobleces a 180° cada uno.
2	El corte de las pestañas, las ranuras y las marcas de doblado tienen que ser equidistantes. Se deben realizar después de la operación del doblado.	Mantener simetría.
3	Las marcas de los laterales se deben realizar a 38 mm del lado más largo de la hoja, de forma simétrica. Siendo la primera operación a realizar.	Posición del marcador a 38 mm del lado más largo de la hoja.
4	Las ranuras de acoplamiento están ubicadas a 18,62 mm del extremo del lado más largo, a 16,69 mm del extremo del lado más corto cuando el papel se encuentra doblado con un espesor de 1 mm y 40 mm de profundidad.	Cortes de 1 mm x 40 mm para ranuras, a distancia de 18,62 mm del largo y 16,69 mm del ancho.
5	Las pestañas se tienen que cortar desde la marca de 38,18mm en forma diagonal hasta el borde. Donde se debe cruzar a 3,34mm desde el borde más corto.	Los cortes de las pestañas son simétricos como se indica en el croquis figura 15.
6	Las dimensiones finales de la pieza deben ser 35mm x 35 mm x 162 mm.	Volumen de 35 mm x 35 mm x 162 mm.
7	El orden de las operaciones debe ser primero marca de pestañas, segundo doblado en forma de folleto, tercero corte y marca central, cuarto formado y quinto doblez de pestañas.	
8	Espacio designado para el mecanismo de preparar y formar papel, del reglamentado por la competencia de 50 cm x 50 cm x 50 cm, para el mecanismo es de 50cm x 40 cm x 30 cm.	Volumen ocupado de 50cm x 40cm x 30cm.

Fuente: elaboración propia.

4.3 GENERACIÓN Y EVALUACIÓN DE ALTERNATIVAS

Con el estudio del estado del arte y las restricciones de diseño definidas, se procede a cumplir con el objetivo de plantear diferentes tipos de alternativas con base en la estructura seleccionada. Para esto, se generan ideas del mecanismo más apropiado para la creación de una línea de producción compacta de la pieza PR162-M03. Para este fin, se realizó un **análisis morfológico** que se divide en tres fases: la descomposición funcional, la generación de nuevos conceptos y la combinación de conceptos. Así mismo, las morfologías se subdividen en dos grupos: tarea de doblado y tarea de corte.

La descomposición funcional divide cada tarea en subfunciones, las cuales pueden ser realizadas por diferentes mecanismos denominados conceptos. Con estos conceptos se pueden proponer nuevas ideas para realizar la subfunción, y de esta manera combinarlos y obtener una solución

que se adecue a las especificaciones de diseño del dispositivo. Cada concepto se caracterizó con sus ventajas y desventajas. Lo cual generó facilidad al momento de compararlos y seleccionar el más adecuado para cumplir con las especificaciones. Cabe resaltar que las tareas de corte y doblado tienen subfunciones en común, como la transmisión de potencia y el transporte. Por lo tanto, en la tabla 4 se presenta la caracterización de las subfunciones en común.

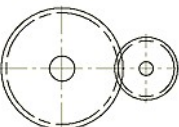
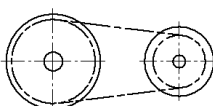
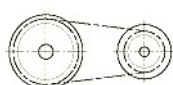
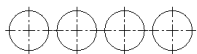
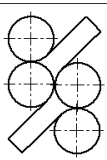
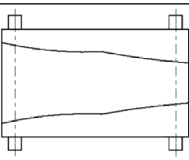
Tabla 4. Descripción de conceptos comunes entre los mecanismos.

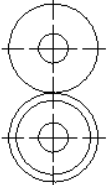
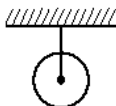
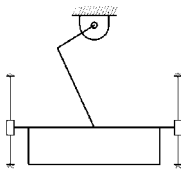
Concepto	Descripción
Engranajes	Ocupan poco espacio, alto costo de fabricación, mantenimiento reducido y no hay pérdidas de potencia significativas.
Correas sincrónicas	Ocupan un espacio medio, no pierden tensión, son precisas, mantenimiento reducido, bajo costo y pérdidas de potencia.
Cadenas	Ocupan mayor espacio, pierden tensión, pérdidas de potencia si no se tensa la cadena y genera suciedad.
Banda transportadora	Pocos elementos móviles y ocupa espacio moderado.
Rodillos transportadores	Varios objetos móviles rotativos y espacio moderado.

Fuente: Elaboración propia.

4.3.1 Morfología de la tarea de doblado. Su función principal es el doblado del papel. Esta, cuenta con una serie de subfunciones como son: el transporte del papel a través del mecanismo, la transmisión de potencia para transmitir el movimiento a la subfunción que lo requiera; la de doblado que es la encargada de generar la deformación en el papel para que conserve la forma deseada y las marcas laterales que generan una leve deformación para posteriormente doblar las pestañas de la pieza. En el cuadro 17 se aprecian las subfunciones, con máximo tres conceptos por cada una. De igual manera, en la tabla 5 se muestra la respectiva descripción de los conceptos propios del mecanismo.

Cuadro 17. Descomposición funcional de la tarea de doblado de papel y marcas laterales.

Subfunciones	Concepto 1	Concepto 2	Concepto 3
Transmisión de potencia	 Engranajes	 Correas	 Cadenas
Transporte	 Bandas	 Rodillos	
Doblado	 Rodillos	 Rieles guía	

Marcas laterales			
	Rodillos	Cuchillas verticales	Guillotinado

Fuente: elaboración propia.

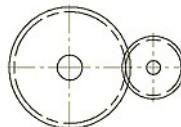
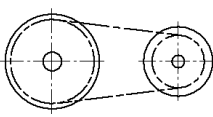
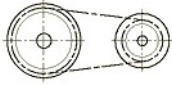
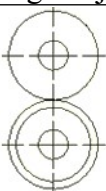
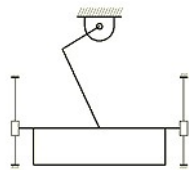
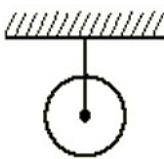
Tabla 5. Descripción de conceptos propios de la tarea de doblado.

Concepto	Descripción
Rodillos de doblado	Ocupa un espacio reducido, mecanismos con alta precisión, alta velocidad de trabajo según algunos fabricantes y varias piezas móviles.
Rieles guía	Ocupan bastante espacio por la longitud para lograr el doblado, pocas piezas móviles y velocidad media de trabajo según fabricantes.
Rodillos marca	Ocupan poco espacio, trabajan a alta velocidad y pueden ser montados en rodillos de transporte de papel.
Cuchillas verticales	Ocupan un espacio moderado, media cantidad de piezas móviles y ocupan un espacio independiente.
Cizalla	Ocupan un espacio amplio debido a la movilidad del mecanismo, varias piezas móviles y baja velocidad de trabajo.

Fuente: elaboración propia.

4.3.2 Morfología de la tarea de corte. La descomposición funcional de la tarea de corte está compuesta por tres subfunciones que son: Transmisión de potencia encargada de generar movimiento a otra subfunción que lo requiera, corte y marcado encargada de cortar el papel y transporte que se encarga de llevar el papel a través del proceso. En el cuadro 18 se observan los conceptos de las subfunciones y en la tabla 6 se presenta la descripción de las subfunciones propias de la tarea de corte.

Cuadro 18. Descomposición funcional de la tarea de corte y marcado.

Función: Corte y marcado de papel			
Subfunciones	Concepto 1	Concepto 2	Concepto 3
Transmisión de potencia	 Engranajes	 Correas	 Cadenas
Corte y marcado	 Rotativo	 Guillotina	 Cuchillas rotativas
Transporte	 Banda	 Rodillo	

Fuente: elaboración propia.

Tabla 6. Descripción de conceptos propios de la tarea de corte.

Concepto	Descripción
Rotativo	Ocupan espacio moderado, trabajan a una alta velocidad, transportan, cortan el papel y tienen complejidad en su fabricación.
Cuchillas verticales	Ocupan un espacio moderado, media cantidad de piezas móviles y ocupan un espacio independiente.
Cizalla	Ocupan un espacio amplio debido a la movilidad del mecanismo, varias piezas móviles y baja velocidad de trabajo.

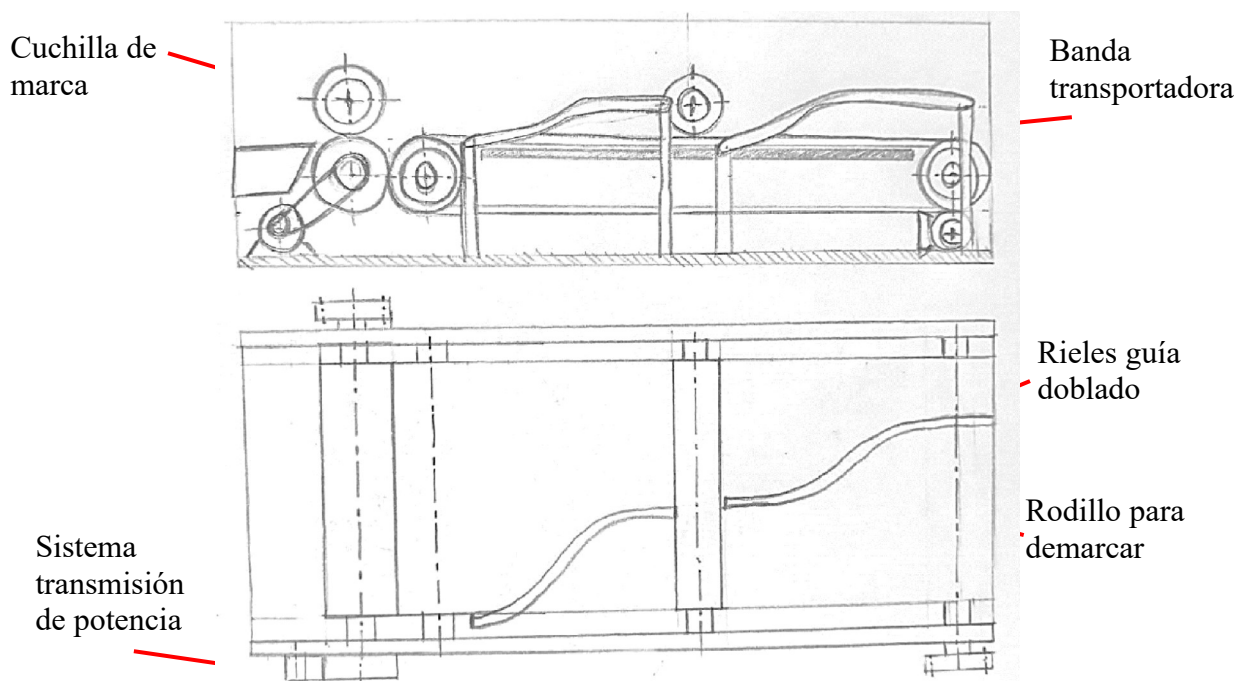
Fuente: elaboración propia.

4.3.3. Generación de ideas. Con el panorama generado con el análisis morfológico se facilitó la creación de ideas para los mecanismos de doblado y corte. Las ideas se exponen en los siguientes apartes.

4.3.3.1. Mecanismo de doblado. Con la descomposición funcional se desarrollaron tres ideas para preparar y doblar el papel. También se adicionaron otros conceptos a medida que se iba desarrollando la idea con el fin de dar solución al objetivo general del proyecto. La primera propuesta está compuesta por un troquel rotativo, un sistema de banda transportadora y unos rieles de guía que van generando el doblado en la hoja a medida que esta avanza por medio de las bandas transportadoras según se muestra en la figura 18. El concepto se utiliza de forma lineal, es decir las etapas de doblado están una seguida de la otra. Aunque solo se representan dos, con este mecanismo se necesitan tres etapas para lograr el doblado necesario para dejar el papel listo para el siguiente paso.

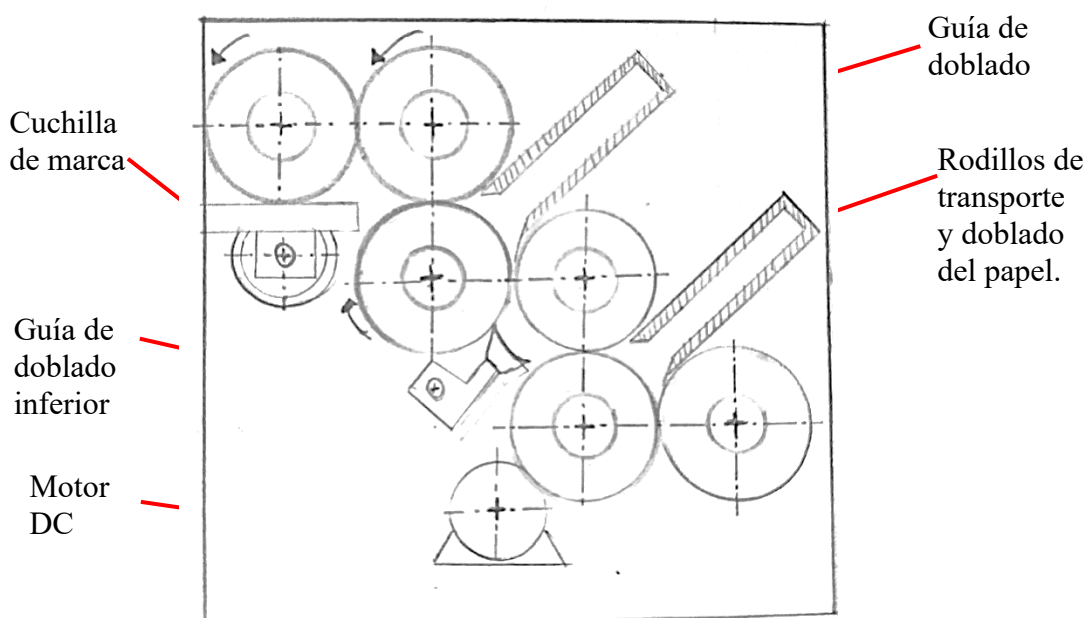
La segunda idea está compuesta por un par de cuchillas giratorias a la entrada del mecanismo que generan las marcas en el papel; seguido de un sistema de rodillos que se encargan de transportar y doblar el papel, con ayuda de una serie de guías que represan el papel hasta que este mismo genera una curvatura, la cual es tomada por los rodillos siguientes generando un doblado en el papel. Este concepto se observa en la figura 19.

Figura 18. Idea 1, conformada por troquel rotativo, con rieles guías y transporte de banda transportadora. En el esquema se explican las funciones de cada componente del mecanismo.



Fuente: elaboración propia.

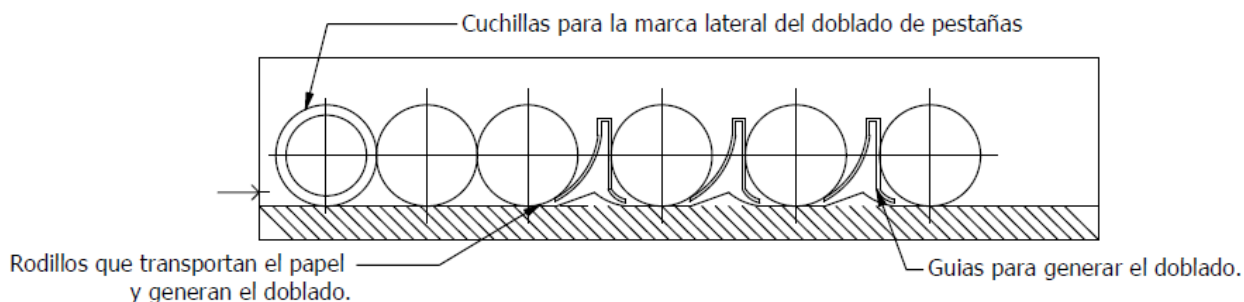
Figura 19. Idea 2, dobladora de papel con marca de pestaña previa al proceso de doblado.



Fuente: elaboración propia.

La tercera y última idea surge de una variante de la segunda al convertir el sistema de doblado de escalera a lineal. En ésta, las guías van entre los pares de rodillos y hacen que la hoja se pliegue hasta ser atrapada por el siguiente rodillo, generando el doblez del papel. En el inicio del mecanismo se incluyen cuchillas que generan la marca para realizar el doblez de la pestaña en el proceso final de formado de la pieza del papel. Se puede observar en la Figura 20.

Figura 20. Idea 3 dobladora de papel con marca en la entrada, con guías en posición vertical.



Fuente: elaboración propia en Autodesk Inventor.

Con la descripción de las ideas y la definición de su funcionamiento teórico se valoran las alternativas de diseño por medio de una matriz de evaluación la cual se muestra en el cuadro 19. En esta se determinan tres ítems, los cuales se nombran a continuación:

- Volumen ocupado: se evalúa el volumen ocupado por mecanismo basándose en el estado del arte de máquinas similares, en el momento no se puede cuantificar.
- Precisión: con este ítem se evaluó que tan preciso podía ser el mecanismo de acuerdo con el estado del arte y su concepto de funcionamiento.
- Facilidad de ensamblaje: según la observación de las máquinas del estado del arte se puede determinar la complejidad de ensamblaje de las ideas generadas. Este se tiene en cuenta en el caso de que se requiera hacer reparaciones durante la competencia.

Cuadro 19. Matriz de desición idea de doblado.

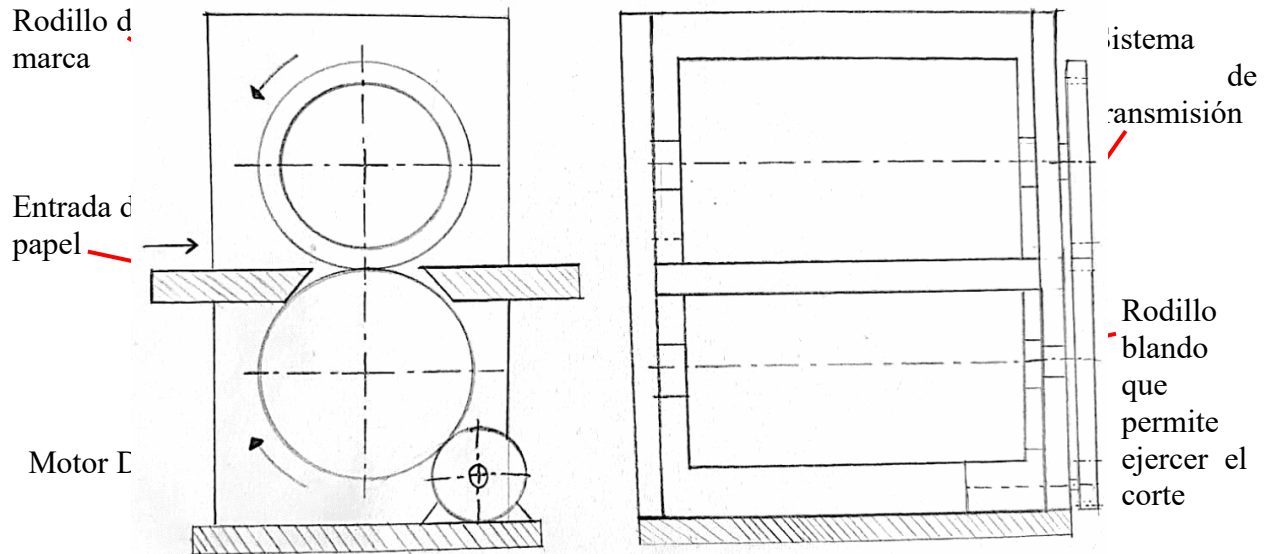
Ideas Características		Conceptos		
		Idea 1	Idea 2	Idea 3
Volumen ocupado	45	-1	0	1
Precisión	30	0	1	0
Facilidad de ensamblaje	25	-1	1	0
Total	100	-70	55	45

Fuente: elaboración propia.

4.3.3.2 Ideas generadas mecanismo de corte. Para el mecanismo de corte se producen tres ideas basadas en la descomposición morfológica a partir del estado del arte. La primera idea consiste en un troquel rotativo compuesto por dos rodillos, uno recubierto de un material blando que hace

las veces de matriz y el otro donde se alojan las cuchillas de corte, el cual cumple la función de punzón. Este mecanismo requiere mantener la sincronía del ingreso del material y las cuchillas, para generar el corte en la posición adecuada. Para lograr esta sincronía regularmente se utiliza un mecanismo de barras unido a uno de los rodillos del troquel. La idea número uno se observa en la figura 21.

Figura 21. Idea 1 corte, troquel rotativo con explicación modo croquis.

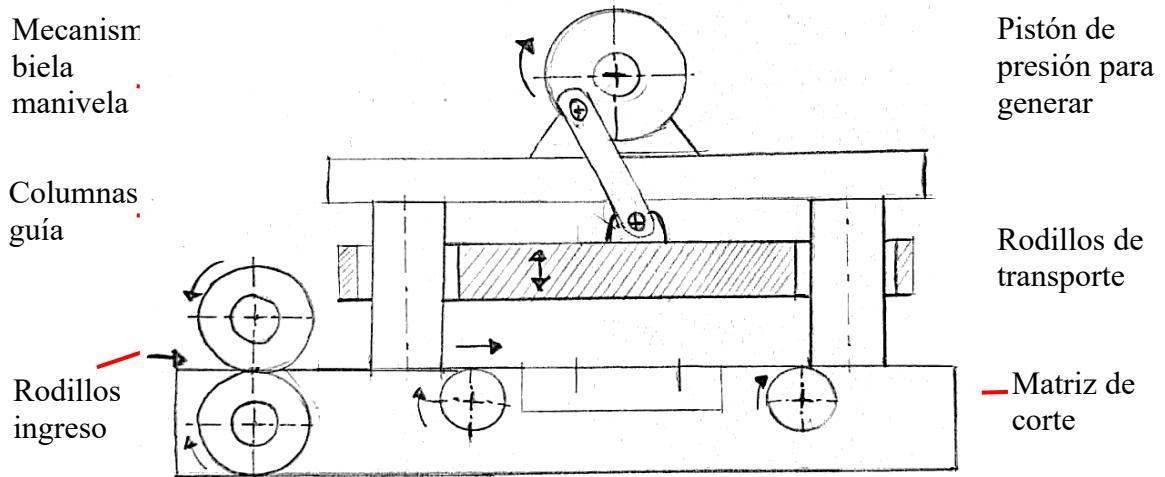


Fuente: elaboración propia.

La segunda idea está basada en la forma de un troquel convencional con matriz y punzón. Pero en este caso la matriz se remplaza por un suaje con la forma de la corte deseada; la base se compone de madera que posee insertadas las cuchillas de corte rodeadas de gomas o espumas expulsoras que cumplen la función de resorte para que los residuos no se queden en el troquel. La función del punzón es remplazada por una lámina con material blando que ejerce presión sobre las áreas donde se encuentran las cuchillas. El mecanismo se observa en la figura 22.

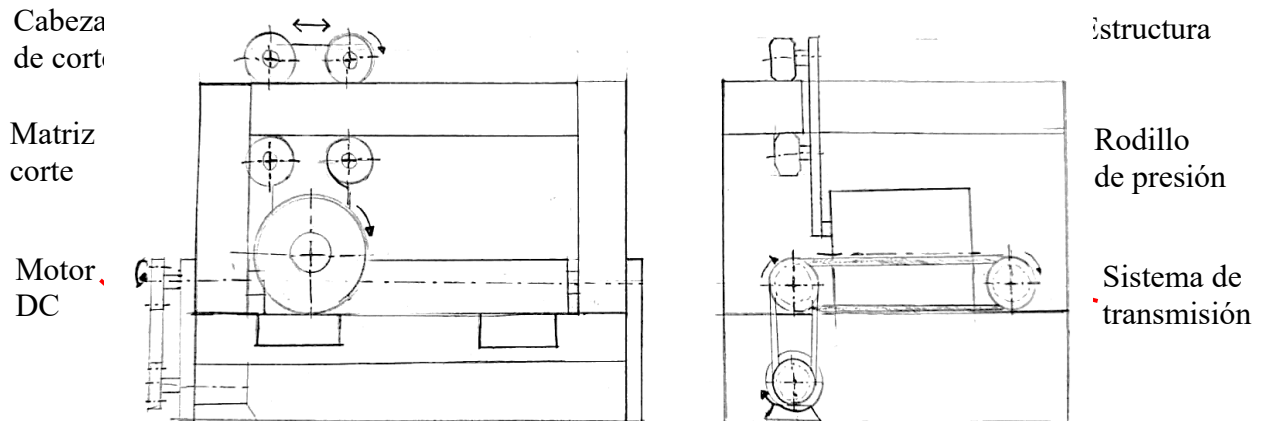
En la tercera, se ideó un rodillo perpendicular al movimiento de la hoja por el mecanismo, éste ejerce presión al papel contra las cuchillas que se encuentran en la matriz de corte. El corte se ejecuta en dos movimientos, primero se posiciona la hoja en el lugar adecuado y luego el carro del rodillo se pone en marcha para realizar el corte. Al terminar su recorrido la hoja se desplaza y le da paso a otra para ser cortada. El mecanismo se aprecia en la figura 23.

Figura 22. Idea 2, troquel general adaptado para papel.



Fuente: elaboración propia.

Figura 23. Idea 3, rodillo de presión para corte.



Fuente: elaboración propia.

La descripción de las ideas y la definición de su funcionamiento teórico dan paso para valorar las alternativas de diseño por medio de una matriz de evaluación. Esta se muestra en el cuadro 20. En la matriz se evaluaron tres ítems, los cuales se nombran a continuación:

- Volumen ocupado: se evalúa el volumen ocupado por mecanismo concebido con base en el estado del arte de máquinas similares, en el momento no se puede cuantificar.
- Precisión: con este ítem se evaluó que tan preciso podía ser el mecanismo según el estado del arte y su concepto de funcionamiento.

- Facilidad de ensamblaje: según la observación de las máquinas del estado del arte se puede determinar la complejidad de ensamblaje de las ideas generadas. Este se considera en el caso de que haya que hacer reparaciones durante la competencia.

Cuadro 20. Matriz de decisión para la selección del mecanismo de corte.

Características		Ideas		
		Idea 1	Idea 2	Idea 3
Volumen ocupado	45	1	-1	0
Precisión	30	0	0	1
Facilidad de ensamblaje	25	-1	0	1
Total	100	20	-45	55

Fuente: elaboración propia.

Para concluir, en el momento de la elección fue importante tener en cuenta la complejidad de las piezas que componen el mecanismo, utilizar piezas normalizadas y prefabricadas que permitan realizar reparaciones de manera ágil y oportuna. Para la selección de los mecanismos, también se tuvo en cuenta si el concepto está probado en el estado del arte y de esta manera reducir la complejidad del diseño.

5. DISEÑO DE DETALLE

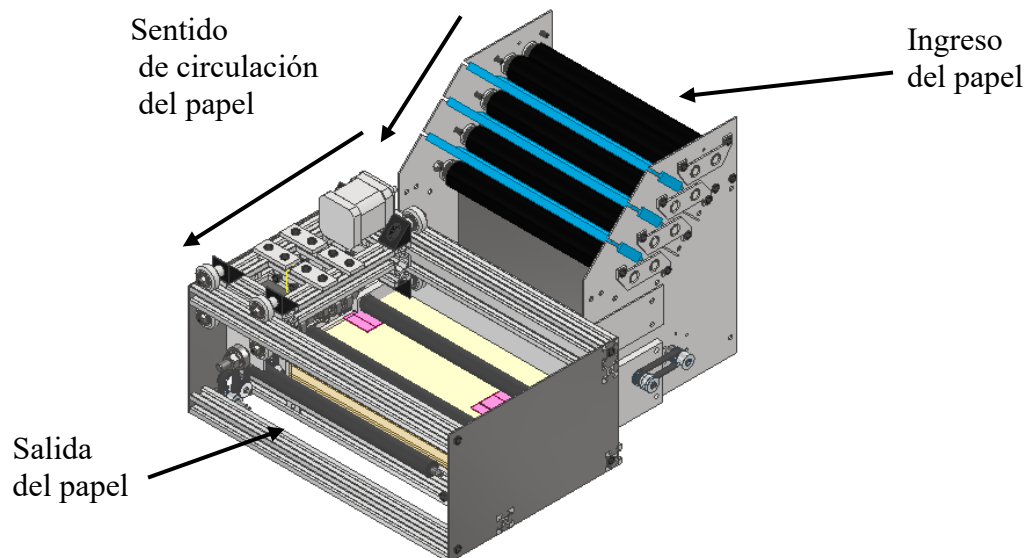
Aquí se presenta el CAD y las memorias de cálculo utilizadas en el diseño. Además, los materiales y piezas normalizadas utilizadas en el diseño del mecanismo. Finalmente, el listado de los planos lo cuales se encuentran en un documento anexo **planos mecanismo doblado y corte**.

5.1 CAD PRELIMINAR

En el CAD preliminar se muestra la idea seleccionada del mecanismo completo y la segmentación del dispositivo. Está compuesto por el mecanismo de corte y el mecanismo de doblado que consiste en una pequeña línea de producción en la cual por un lado ingresa la hoja de papel y al final sale transformado. Por lo tanto, en el paso de un mecanismo se tiene que almacenar la materia transformada para realizar el otro proceso, porque estos no trabajan a velocidades similares o de manera lineal.

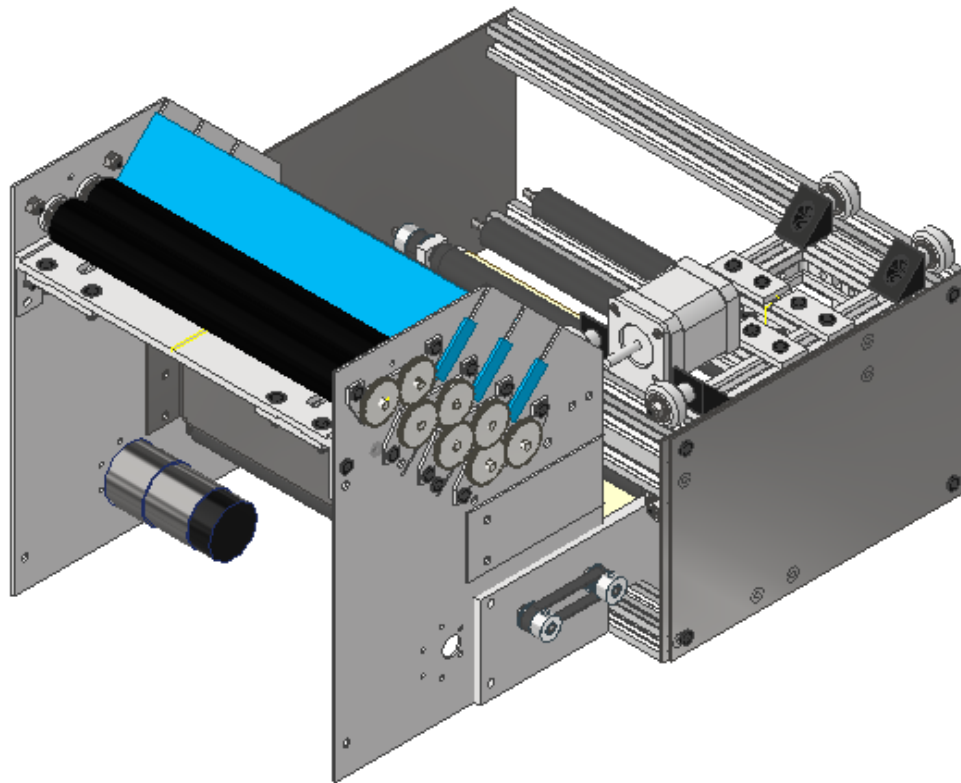
En la figura 24 se presenta una vista isométrica preliminar del dispositivo diseñado y en la figura 25 otra vista isométrica del lado opuesto. La hoja de papel ingresa por la parte superior izquierda de la imagen y sale por la parte inferior derecha del mecanismo. En el proceso: primero se realizan las marcas laterales; luego se generan los tres doblados necesarios en el papel; a continuación, se almacena el papel para que pase a la etapa de corte; seguidamente se posiciona el papel en el lugar indicado para generar el corte; después el cabezal de corte se desplaza generando el corte respectivo y, por último, el papel termina su proceso en el mecanismo. La descripción en esta etapa de diseño es general puesto que es un mecanismo preliminar, al cual se le realizaron modificaciones para obtener el diseño final.

Figura 24. Vista isométrica preliminar del dispositivo completo.



Fuente: elaboración propia en Autodesk Inventor.

Figura 25. Vista isométrica preliminar en el sentido contrario de la figura 24.



Fuente: elaboración propia Autodesk Inventor.

5.2 DISEÑO FINAL

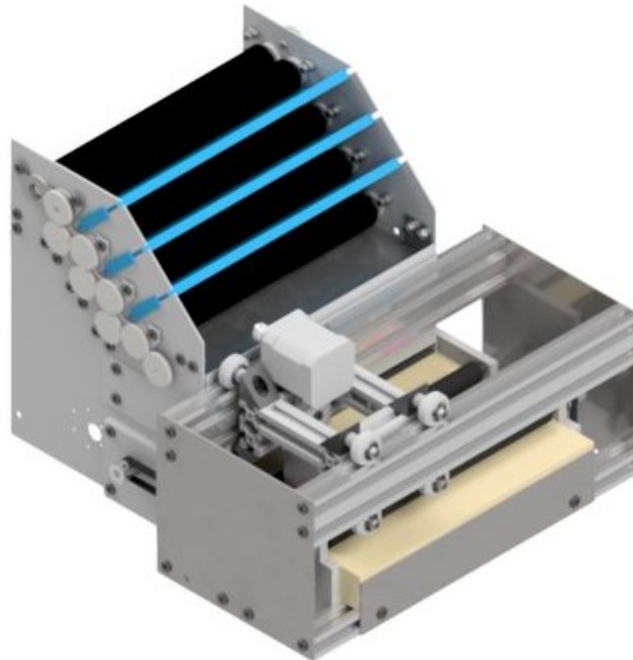
En el proceso del diseño de detalle se utilizaron piezas estandarizadas, disponibles en el mercado nacional, en especial piezas utilizadas en máquinas Control Numérico Computarizado (CNC) e impresoras 3D. También, se consideró el espacio disponible de 500 x 500 x 500 mm, en el cual se incluye otros mecanismos adicionales que no son diseñados en este proyecto. De acuerdo al diseño realizado, el mecanismo abarca un volumen de 250 x 342,5 x 319 mm. Se utilizaron láminas para el chasis, duraluminio para algunas piezas mecanizadas, aceros para el mecanizado de los ejes y piezas impresas en 3D con diferentes materiales dependiendo de la necesidad.

El diseño del CAD final se presenta en la figura 26 que corresponde a la vista isométrica y, la figura 27 incluye una vista posterior a la observada en la figura anterior. Aquí se observa la reducción del tamaño del mecanismo de corte con respecto al preliminar. Así mismo, en la transmisión se emplearon tres sistemas independientes, el sistema de transmisión del mecanismo de doblado y dos para el mecanismo de corte.

Para la obtención del diseño se realizaron varias analogías con las impresoras de tinta convencionales, y con mecanismos utilizados en la industria papelera. Además, se tomó el

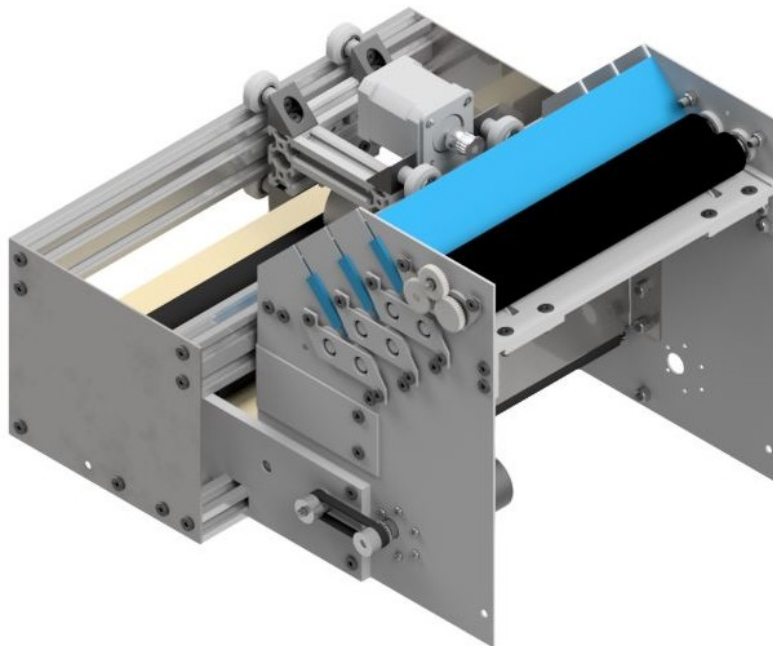
concepto de una cadena de producción, en la cual se pretende realizar la fabricación de una pieza desde una materia prima la cual es una hoja de papel, hasta llegar a construir una torre.

Figura 26. Vista isométrica del mecanismo de doblado y corte.



Fuente: elaboración propia Autodesk Inventor.

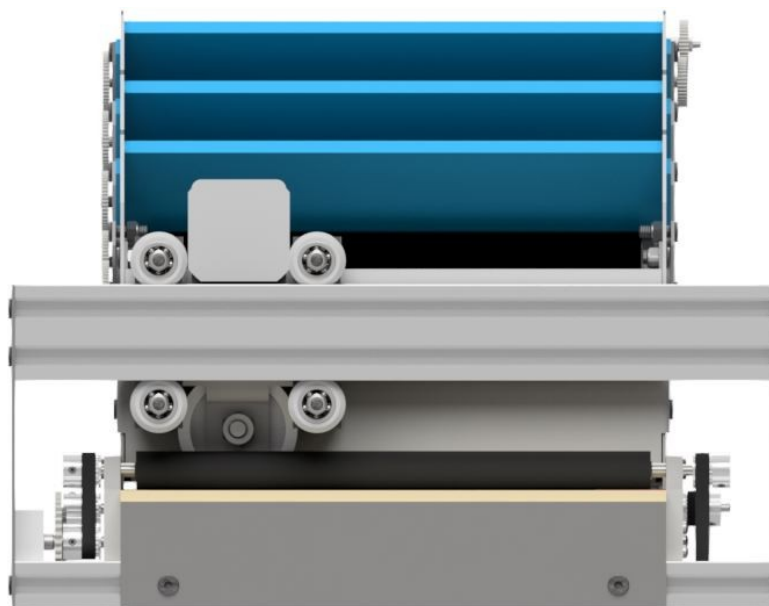
Figura 27. Vista isométrica posterior del dispositivo.



Fuente: elaboración propia Autodesk Inventor.

En la figura 28 se presenta una vista frontal del mecanismo. En esta, se observa el cabezal de corte montado sobre el riel por el cual se desliza; parte de los sistemas de transmisión de potencia del dispositivo; las guías de doblado del mecanismo y el soporte de la matriz de corte.

Figura 28. Vista frontal del dispositivo.

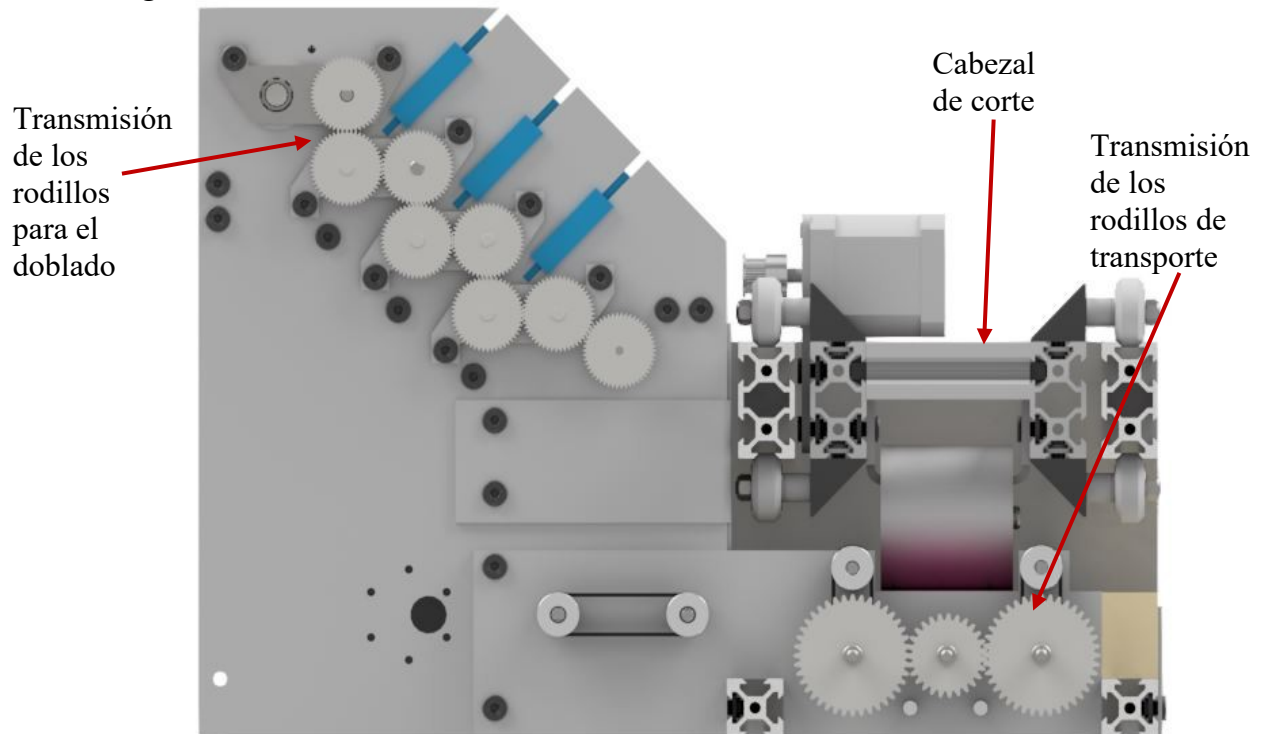


Fuente: elaboración propia Autodesk Inventor.

5.2.1 Diseño del sistema de transmisión de potencia. Las visualizaciones de los sistemas de transmisión se aprecian en las figuras 29 y 30. En la figura 29 se presenta una vista de corte del mecanismo en el que se aprecia el sistema de transmisión del mecanismo de corte compuesto por un tren de engranajes con relación de 1:1. En la parte inferior central, se observa una transmisión de potencia de correas que hace parte del sistema de almacenamiento y alimenta el mecanismo de corte. A continuación, en la parte inferior derecha se encuentra un tren de engranajes que contiene un engranaje loco; esto con el fin de que los ejes que posicionan el papel giren en la misma dirección.

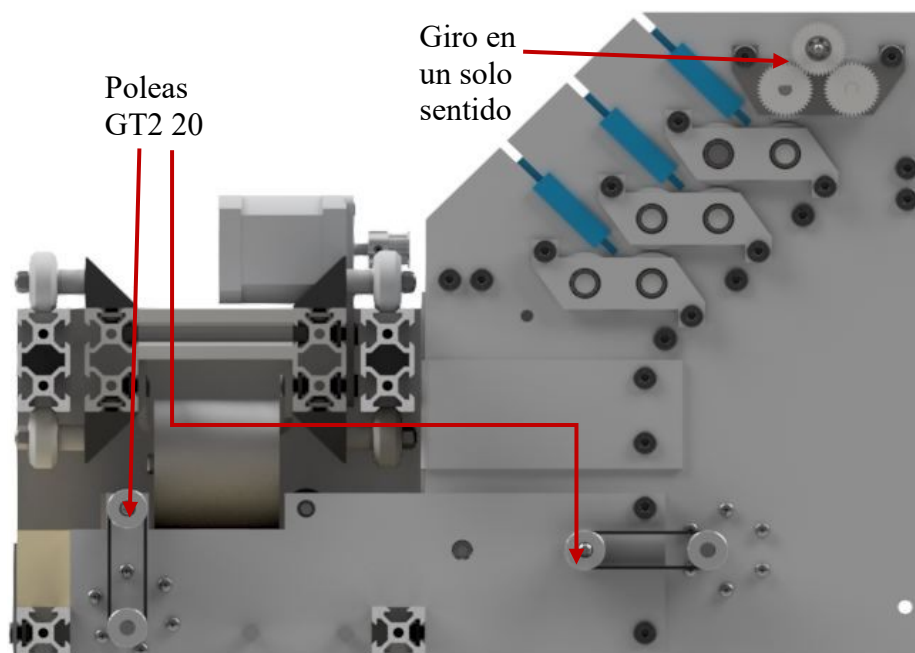
Este tren de engranajes, se complementa con un sistema de poleas sincrónicas que está compuesto por tres correas: la primera, se observa en la figura 30 en la esquina inferior izquierda la cual transmite la potencia del motor al eje; la segunda polea se encuentra al respaldo y le transmite la potencia del eje al tren de engranajes para que el otro eje gire en la misma dirección, y la tercera polea transmite la potencia del tren de engranajes al eje de posicionamiento. En la parte inferior central se observa la transmisión de potencia del motor al primer eje del sistema de almacenamiento y este lo transmite por medio de una correa al siguiente como se observa en la figura 29. Por último, en la parte superior derecha de la figura 30, se encuentra un tren con un engranaje loco para que el rodillo de ingreso gire en el mismo sentido que el rodillo siguiente manteniendo la misma velocidad.

Figura 29. Vista seccionada en la que se observa gran parte del sistema de transmisión.



Fuente: elaboración propia Autodesk Inventor.

Figura 30. Vista seccionada posterior del sistema de transmisión.



Fuente: elaboración propia Autodesk Inventor.

La selección de los engranajes se realizó por medio del tamaño definido para los ejes y las relaciones de velocidad son de 1:1. Esto en razón de que, el motorreductor se encarga de suplir el requerimiento de velocidad del motor. El material escogido para la fabricación de los engranajes fue el Nylon por manufactura aditiva que es un filamento que ofrece gran flexibilidad, resistencia al impacto y la abrasión [34].

Las especificaciones de los engranajes se presentan en el cuadro 21.

Cuadro 21. Dimensiones geométricas de los engranajes.

Propiedad	Símbolo	Dimensión	Engranaje 27 mm	Engranaje 40 mm	Engranaje 25 mm	Engranaje 20 mm
No. Dientes	N		54	80	50	40
Módulo	m	mm	0,5	0,5	0,5	0,5
Ángulo de presión	φ	°	20°	20°	20°	20°
Adendum	a	mm	0,5	0,5	0,5	0,5
Dedendum	b	mm	1,125	0,625	1,125	0,603
Diámetro primitivo	d	mm	27	40	25	20
Diámetro exterior	de	mm	28	41	26	21

Fuente: elaboración propia.

La selección de las poleas sincrónicas, se escogieron por su distancia entre centros para cumplir con la restricción de espacios del mecanismo, pasar la potencia del motor a los ejes de tal manera que exista relación de 1:1. Las especificaciones de las poleas seleccionadas se presentan en el cuadro 22, estas se seleccionaron en principio por ser las más cortas y disponibles en el mercado. Además, permiten acomodarse a la configuración de los rodillos del sistema de almacenamiento.

El cálculo de las correas se presenta a continuación:

Primero se toma el diámetro de las poleas, como son relación 1:1 el diámetro de la raíz es el mismo, para ello se calcula el perímetro de la polea:

$$d = 5 \text{ mm}$$

$$P = 2 \pi r = 5 \text{ mm} * \pi = 15,7 \text{ mm}$$

Luego, se toma la longitud de la correa, a esta se le resta el perímetro y este resultado se divide entre 2, así se obtiene la distancia entre centros:

$$L = \frac{98 \text{ mm} - 15,7 \text{ mm}}{2} = 41 \text{ mm}$$

Cuadro 22. Dimensiones de las correas seleccionadas.

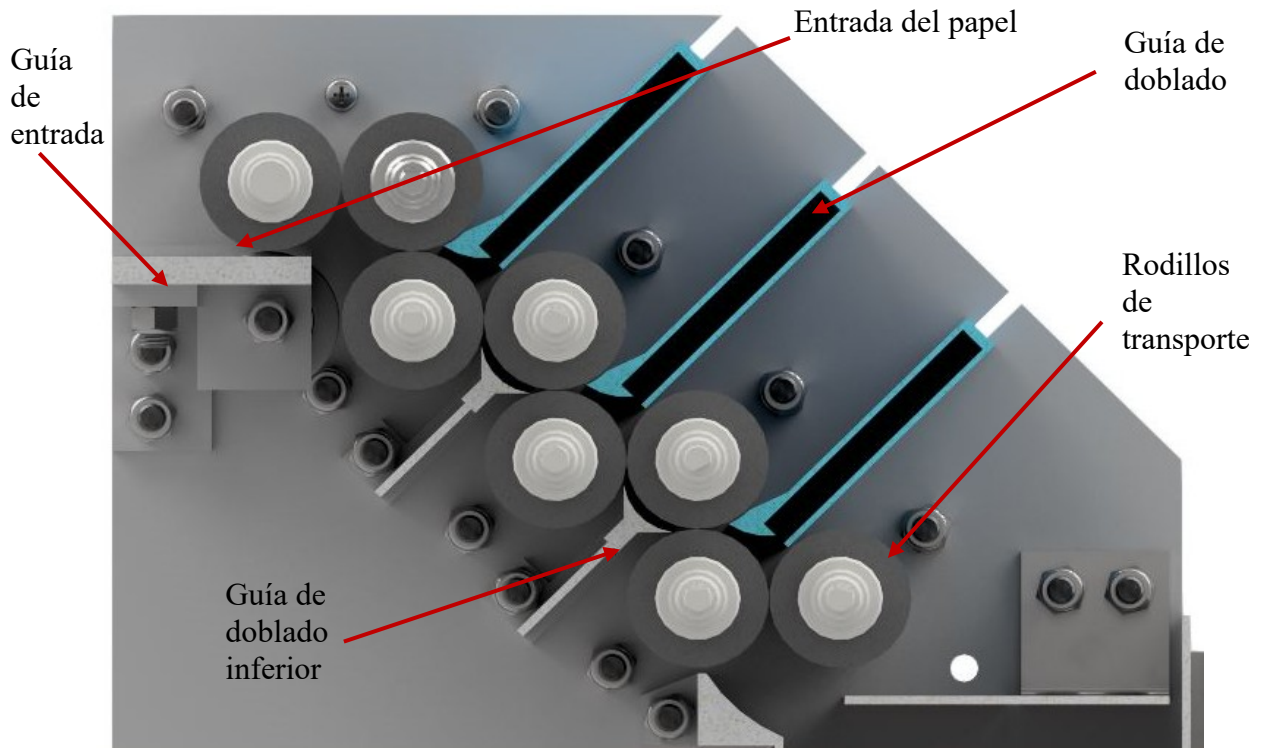
Descripción	Dimensiones
Polea GT2 20 dientes 5 mm	5 mm
Correa GT2 98 mm	
Distancia entre centros	41 mm

Fuente: elaboración propia.

5.2.2 Diseño mecanismo de doblado. El mecanismo de doblado se aprecia en la vista de corte de la figura 31. Donde la hoja ingresa por el lado superior izquierdo, para que el primer rodillo junto con las cuchillas rotatorias genere las marcas laterales. A continuación, el par de rodillos siguientes empujan el papel hacia la guía para que este se acumule hasta que la intersección de los rodillos inferiores lo atrapen y lo empiecen a transportar, generando el doblado y guiándolo hacia el siguiente doblez y al terminar el doblado este se almacena en la cavidad diseñada para tal fin. En la parte inferior de los rodillos se diseñó una guía con el propósito de dirigir el papel hacia la siguiente sección de rodillos. Para la fabricación de las guías se tuvo en cuenta su función y se opta por el diseño a través de manufactura aditiva.

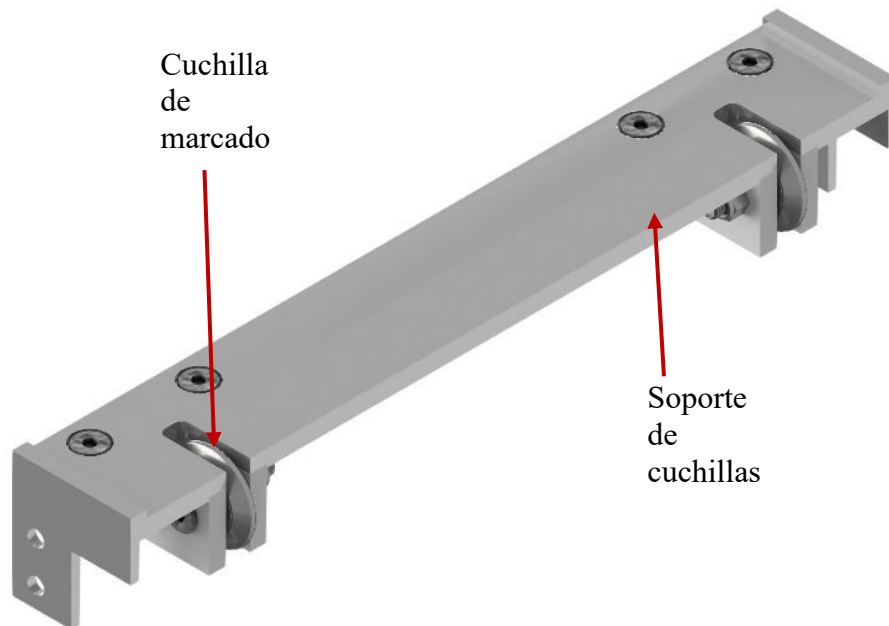
Para sostener las cuchillas en el eje, fue necesario diseñar un soporte que a su vez funciona como guía de entrada del papel al mecanismo y este ayuda a darle rigidez a la estructura del mismo. El componente junto con las cuchillas se evidencia en la figura 32.

Figura 31. Vista de corte del mecanismo de doblado



Fuente: elaboración propia.

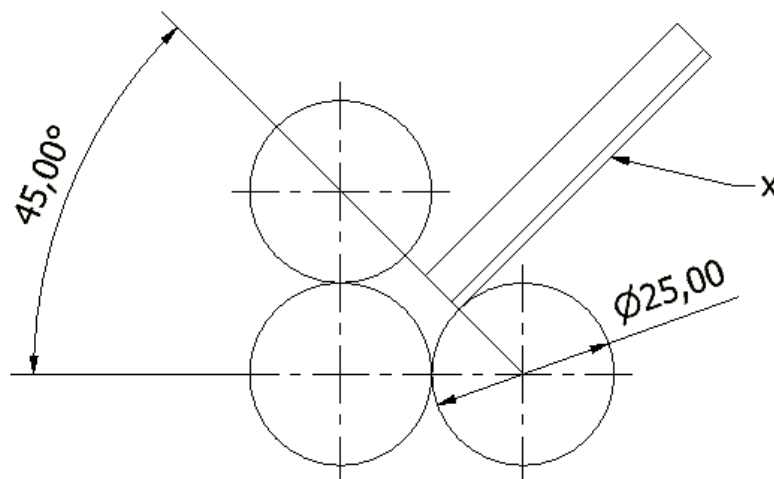
Figura 32. Soporte cuchillas de marca y guía de entrada del mecanismo.



Fuente: elaboración propia.

Así mismo, para determinar el tamaño del saliente se necesita saber el tamaño de los rodillos, ya que el saliente se ubica a 45° grados entre dos de ellos como se muestra en la figura 33. Este cálculo es necesario porque la ubicación del doblez se encuentra en el punto tangente entre los dos rodillos inferiores, por lo tanto, una parte es cubierta por la longitud de arco y la restante por el saliente.

Figura 33. Diagrama de explicación mecanismo de doblado.



Fuente: elaboración propia

La distancia que debe haber es de 70 mm entre la intersección de los dos rodillos y el final del saliente. Siendo así, la distancia de longitud de arco que suministra el rodillo es $\frac{1}{4}$ de circunferencia, y el resto debe ser cubierto por el saliente. En tal caso, se procedió a realizar los siguientes cálculos:

Las variables necesarias son el radio del rodillo (**r**), el ángulo de la circunferencia(**a**) que cubre y la distancia del dobléz (**L**).

$$r = 12.5 \text{ mm}$$

$$L = 70 \text{ mm}$$

$$a = 45^\circ$$

Primero se halla la longitud de arco de la sección con la siguiente ecuación:

$$P = \frac{2r\pi}{4}$$

$$P = \frac{r\pi}{2} = \frac{12.5 \text{ mm} * \pi}{2} = 19.63 \text{ mm}$$

Después a **L** se le resta la longitud de arco obtenida:

$$x = L - P$$

$$x = 70 \text{ mm} - 19.63 \text{ mm} = 49.37 \text{ mm}$$

Con la longitud obtenida se procedió a diseñar el saliente, para generar el dobléz en el lugar adecuado, la longitud utilizada en el diseño fue de 49,5 mm.

5.2.2.1 Selección motor mecanismo de doblado. Para la selección del motor se determinó cuántas hojas van a recorrer por el rodillo, que en este caso son 100 hojas (límite establecido por la competencia) con una longitud de 279 mm. Para determinar la longitud se multiplica esta distancia por la cantidad de hojas. A continuación, se define el tiempo en el que se debe recorrer dicha longitud, por tal razón, se selecciona el tiempo de la prueba de altura que es la prueba de menor tiempo, ya que solo se cuenta con cinco minutos para darle forma al papel y construir la torre. Dicho tiempo se debe dividir en las tareas que se deben realizar para cumplir con el tiempo estipulado de la competencia, en este caso se dio un tiempo de dos minutos para el mecanismo de doblado dejando un restante para las otras tareas.

Variables:

- x = es el lado largo de la hoja por el número de hojas que van a pasar por el mecanismo.
- t = es el tiempo en que deben cruzar todas las hojas.
- r = el radio del rodillo
- V = la velocidad lineal
- ω = es la velocidad angular

Primero se determina la longitud x :

$$x = 100 \text{ hojas} * 279 \text{ mm} = 27900 \text{ mm}$$

Luego, se convierten los minutos a segundos:

$$t = 2 \text{ min} = 120 \text{ s}$$

Después, se realiza el cálculo de la velocidad lineal, que pertenece a la velocidad en el extremo del rodillo:

$$V = x/t$$

$$V = 27900 \text{ mm} / 120 \text{ s} = 232,5 \text{ mm/s}$$

Finalmente, se hace el cálculo de velocidad angular con el objetivo de seleccionar el motor:

$$r = 12,5 \text{ mm}$$

$$\omega = v/r$$

$$\omega = (232,5 \text{ mm/s}) / 12,5 \text{ mm} = 18,6 \text{ rad/s}$$

$$\omega = 280,8 \text{ rpm}$$

Por lo tanto, el motor disponible en el mercado y que se acerca a las revoluciones que debe girar el rodillo es de 290 RPM. También se incluye un micro reductor 7V DC 290RPM de 1,8 kg/m de torque. Se seleccionaron estos motores por sus características técnicas, entre las que están el tamaño y que son ideales para aplicaciones de robótica. Sus dimensiones son 10 mm x 12 mm x 34,2 mm que se observa en la figura 34.

Figura 34. Microreductor.

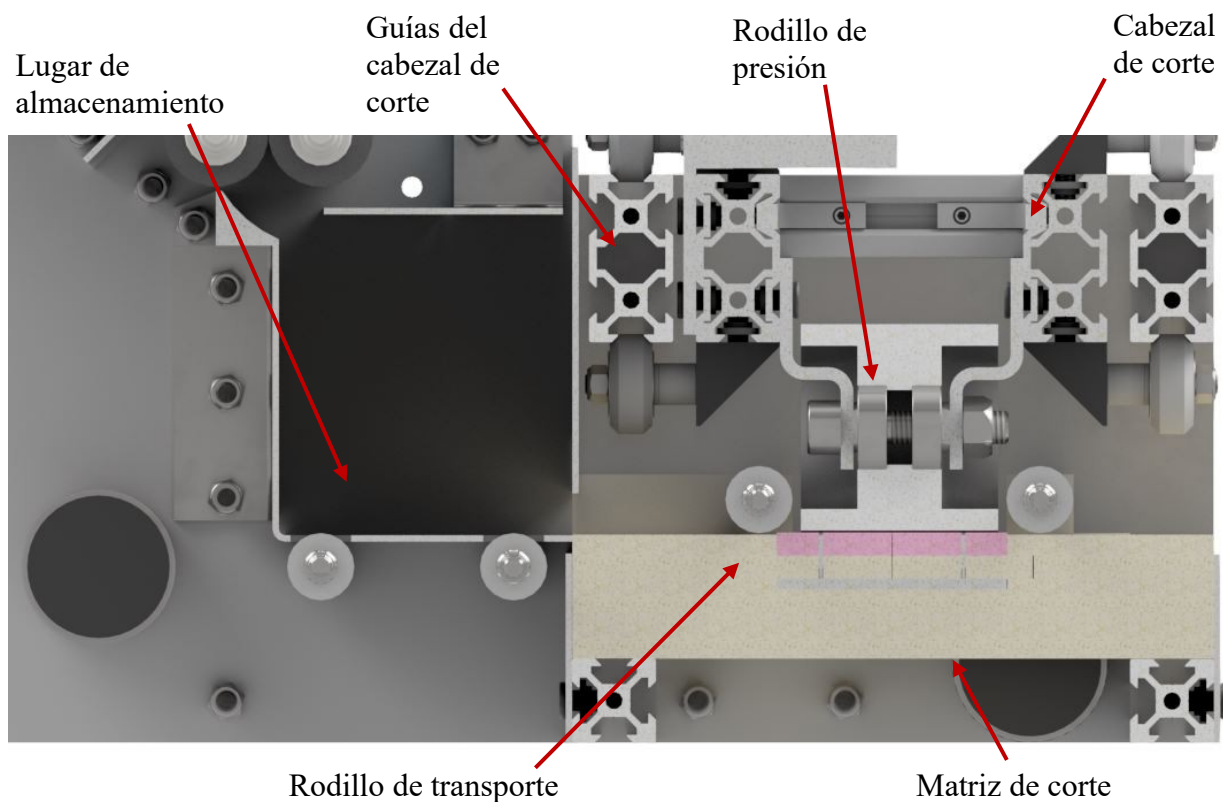


Fuente: didácticas electrónicas.

5.2.3 Diseño mecanismo de corte. El diseño del mecanismo de corte se divide en dos secciones: el cabezal con su estructura de deslizamiento y la matriz de corte. En la figura 35 se presenta la totalidad del mecanismo de corte, junto con el sistema de almacenamiento del papel doblado. De

izquierda a derecha se observa el almacenamiento conformado por un cajón con unos rodillos inferiores que ingresan el papel a la sección de corte. A continuación, se observan los rodillos que sujetan y acomodan la hoja en la posición precisa para realizar el corte. Los movimientos de estos rodillos se realizan con un motor paso a paso, o con un sistema electrónico que permita su rotación de forma puntual. En la parte inferior se encuentra la matriz de corte conformada por una base de madera, en la cual se acomodan las cuchillas y las espumas expulsoras. Cuando el papel este sujetado por los rodillos y en la posición indicada el cabezal de corte se desplaza sobre la hoja ejerciendo presión para generar el corte en el papel. Al finalizar el recorrido del cabezal, los rodillos se activan de nuevo, para expulsar la hoja y posicionar otra. Es así como se genera el proceso de producción en cadena.

Figura 35. Vista de corte del mecanismo de corte.



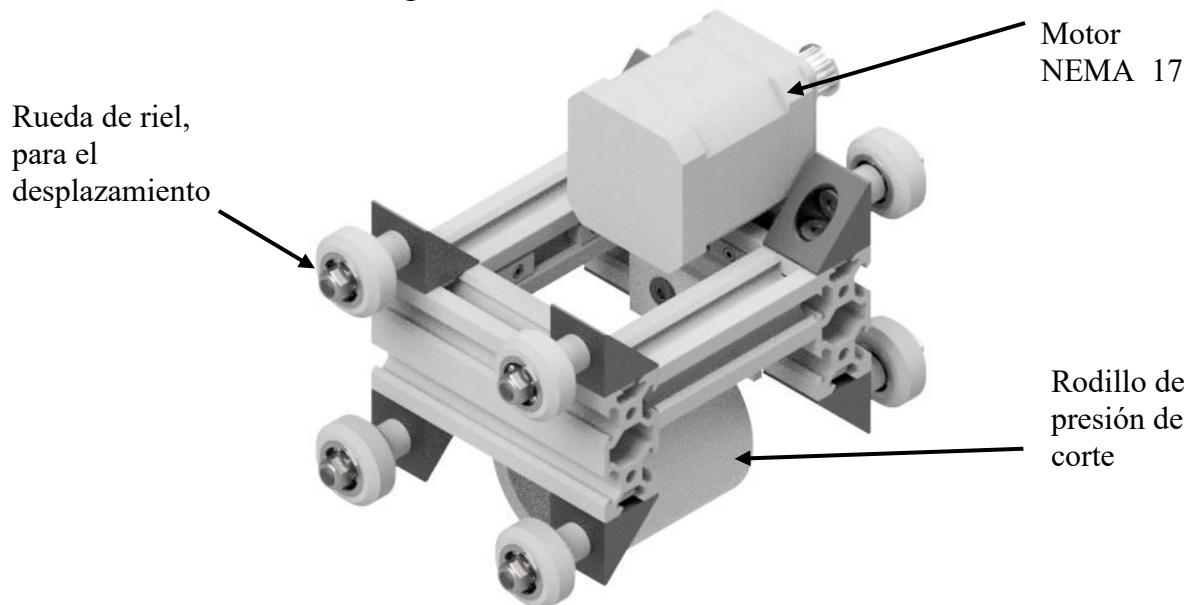
Fuente: elaboración propia.

5.2.3.1 Diseño del cabezal de corte. El diseño del cabezal se pensó para que sus rieles funcionen como estructura y su parte inferior aloje la matriz de corte, junto con el sistema que posiciona el papel para poder realizar el corte. Para realizar esta parte del diseño se elige hacer uso de perfiles Open Build que actúan como estructura y riel. Además, los componentes para el cabezal en su mayoría son normalizados, como las ruedas, los bujes, los rodamientos y elementos estructurales que lo componen. El rodillo que genera el corte se selecciona en duraluminio en razón a sus propiedades de alta resistencia a la fatiga y una buena maquinabilidad, alta resistencia a la

corrosión, un peso ligero ya que es un 60% más ligero que el acero y reducción en los tiempos de mecanizado en 70%-80% [35].

El cabezal de corte del mecanismo se observa en la figura 36. Este se desliza sobre un perfil OB2040 de aluminio que cumple la función de riel. El cabezal se mueve gracias al motor que está soportado en su parte superior y el movimiento se genera por medio de una correa abierta que se sujeta al perfil. De esta manera, se realiza un movimiento de piñón cremallera, pero en este caso se compone de una correa y una polea sujeta al motor. De igual modo, en el cabezal de corte se encuentra sujetado un rodillo de duraluminio el cual es el encargado de ejercer presión al papel contra las cuchillas que se encuentran en la matriz de corte, este rodillo se encuentra acoplado con rodamientos para reducir la fricción y el desgaste.

Figura 36. Cabezal de corte o carro.



Fuente: elaboración propia en Autodesk Inventor.

Para colocar los ejes de transporte del mecanismo, se diseñaron dos soportes en los que se montan los rodamientos que sostienen los dos ejes. También se estableció una cavidad para el montaje del motor que genera la tracción de los rodillos. Es importante tener en cuenta, que ambos ejes deben girar en el mismo sentido, por lo cual fue necesario el montaje de un sistema de transmisión para que estos cumplan con el requerimiento. Los materiales elegidos para estas partes son duraluminio para los soportes y los ejes en acero SAE1045; este acero es muy común en la fabricación de ejes por su dureza y tenacidad. También por su facilidad de mecanizado y bajo costo, con respecto a los aceros de baja aleación, además se tuvo en cuenta que este no va soportar cargas excesivas [36], [37]. Con recubrimiento de nitrilo para generar agarre y tracción en el papel. Estos mecanismos deben ser accionados por motores DC, la selección de los motores se presenta a continuación.

5.2.3.2 Selección motor mecanismo de corte. Para la elección de este motor se tuvo en cuenta que el mecanismo de corte opera en dos etapas: el ingreso del papel a la posición de corte y el movimiento del cabezal para generar el corte. Primero se identifica la fracción de tiempo que se considera en dos minutos y treinta segundos, tiempo que se divide en dos para cumplir con los dos movimientos en el lapso de tiempo que corresponde a 75 segundos cada uno. Para determinar la velocidad de la primera etapa se pensaron las siguientes disposiciones: primero se consideró la distancia que debe recorrer desde el punto de reposo hasta la posición donde se va a realizar el corte, dicha distancia corresponde a 113 mm dada en el dimensionamiento del CAD. En un segundo momento, se consideró la cantidad de hojas que tienen que cubrir esta distancia en el tiempo estimado. Así, se definen las siguientes variables:

- x = es el lado largo de la hoja por el número de hojas que van a pasar por el mecanismo.
- t = es el tiempo en que deben cruzar todas las hojas.
- r = el radio del rodillo
- V = la velocidad lineal
- ω = corresponde a la velocidad angular

Primero se determina la longitud x :

$$x = 113 \text{ mm} * 100 = 11300 \text{ mm}$$

Luego, se realiza el cálculo de la velocidad lineal, que corresponde a la velocidad en el extremo del rodillo:

$$V = x/t$$

$$t = 75 \text{ s}$$

$$v = \frac{11300 \text{ mm}}{75 \text{ s}} = 150,66 \text{ mm/s}$$

Después, se efectuó el cálculo de velocidad angular con el cual se selecciona el motor:

$$\omega = \frac{\frac{150,66 \text{ mm}}{\text{s}} * 1}{8 \text{ mm}} = 18,83 \text{ rad/s}$$

$$\text{RPM} = \frac{18,83 \text{ rad}}{\text{s}} * \left(\frac{2 \pi}{60 \text{ s}} \right) = 179,8 \text{ rpm}$$

Teniendo la velocidad angular calculada, se procede a la selección del motorreductor que cumpla o exceda la especificación de 179,8 RPM. En la segunda etapa se controla el movimiento del cabezal de corte, el cual tiene que desplazarse en la misma cantidad de veces que equivale a la cantidad de hojas que se tienen que cortar. En este caso la distancia que se cubre, es el recorrido

del cabezal en un tiempo de (75) setenta y cinco segundos. La distancia de recorrido del cabezal se obtuvo de las dimensiones dadas en el CAD.

Donde:

- x = es el lado largo de la hoja por el número de hojas que van a pasar por el mecanismo.
- t = es el tiempo en que deben cruzar todas las hojas.
- r = el radio del rodillo.
- V = la velocidad lineal.
- ω = es la velocidad angular.

Primero se determina la longitud x :

$$x = 230 \text{ mm} * 100 = 23000 \text{ mm}$$

Luego, se realiza el cálculo de la velocidad lineal, que es la velocidad en el extremo del rodillo:

$$v = x/t$$

$$t = 75 \text{ s}$$

$$v = \frac{23000 \text{ mm}}{75 \text{ s}} = 306,67 \text{ mm/s}$$

Posteriormente, se hace el compute de la velocidad angular con la que se selecciona el motor:

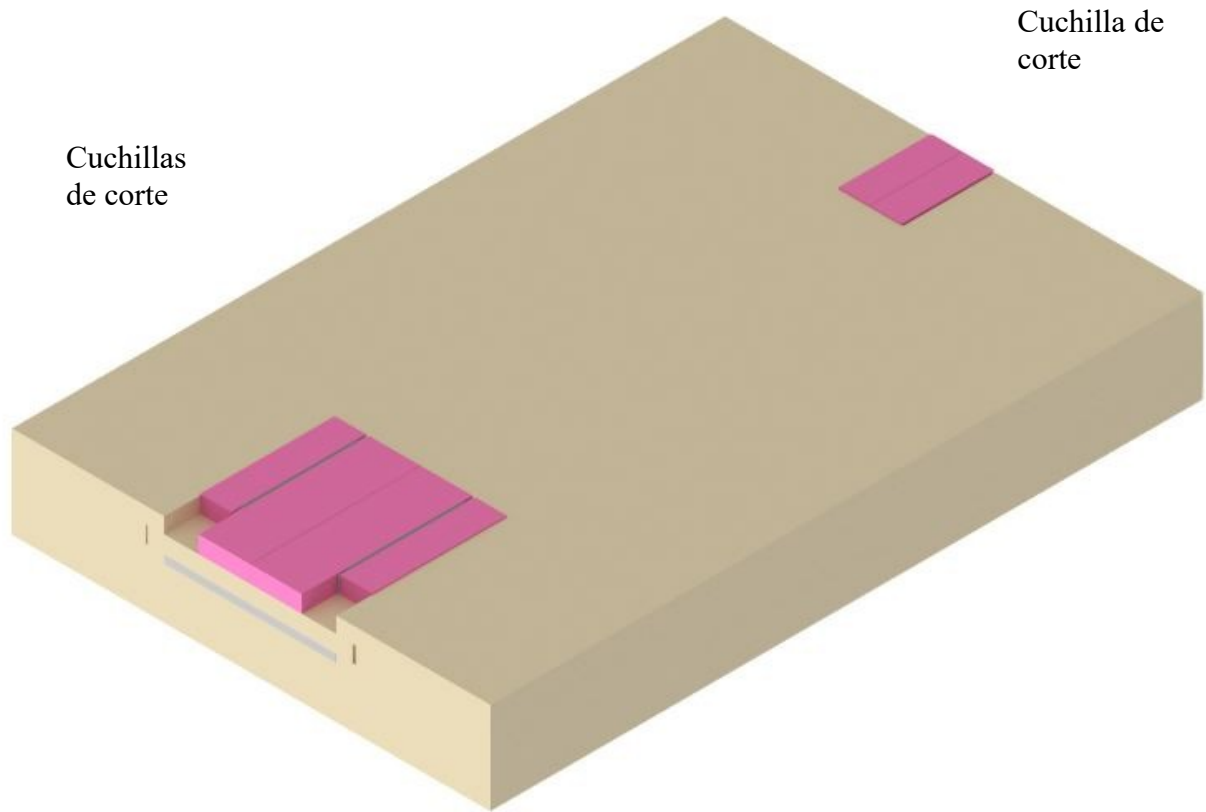
$$\omega = \frac{\frac{306,67 \text{ mm}}{\text{s}} * 1}{25 \text{ mm}} = 12.27 \text{ rad/s}$$

$$RPM = \frac{12.27 \text{ rad}}{\text{s}} * \left(\frac{2 \pi}{60 \text{ s}} \right) = 117.17 \text{ pm}$$

En cuanto a la potencia del motor utilizado para mover el mecanismo de corte se utiliza un NEMA 17 que suele operarse a estas velocidades de giro. A lo anterior, se le suma que es bastante utilizado en este tipo de montajes y empleado en la industria de máquinas CNC.

5.2.3.3 Diseño matriz de corte. En la matriz de corte se utilizaron hojas de cuchillas de máquina de afeitar. Esto en razón a sus propiedades de filo, fácil consecución y remplazo; cualidades que se pueden aprovechar durante la competencia y que además se acomodan perfectamente a las necesidades del proyecto. La base de la matriz se realizó en madera, ya que este es un material de factible manipulación lo que lo hace adecuado para este tipo de troqueles o suajes. La configuración de las cuchillas está dada por el plano de doblado y corte de la ficha. Los planos se encuentran en el documento anexo. El suaje se observa en la figura 37.

Figura 37. Suaje de corte, vista isométrica.



Fuente: elaboración propia.

5.4 ELEMENTOS NORMALIZADOS

5.4.1 Elementos normalizados. Se pensó en utilizar piezas normalizadas generalmente empleadas en la industria de máquinas CNC, máquinas para corte laser, impresión 3D, entre otros. Lo anterior en razón a que se necesitan piezas de dimensiones pequeñas debido al espacio reducido del que se dispone para el equipo completo. El listado de piezas normalizadas utilizados en el diseño se encuentran en el cuadro 23, las cuales se pueden consultar en la red con el nombre descrito en la columna izquierda.

Cuadro 23. Listado de piezas normalizadas utilizadas en el diseño del mecanismo.

Pieza normalizada	Unidades
Angle corner conector	8
Tuercas en T	12
Rueda OB	8
Rodamientos 625ZZ	18
Espaciador de aluminio 9 mm	8
Arandela de precisión 10 mm x 5 mm x 1 mm	12
Soporte motor NEMA 17	1

Motor NEMA 17	1
Tuerca de seguridad M5 Nylon	54
Tornillo M3 x 6 mm cabeza plana avellanada	4
Tuerca doble T	3
Angulo de unión, incluye tornillos	4
Arandela shim 12 mm x 8,1 mm x 1mm	3
Tornillo OB M5 x 10	42
Tornillo OB M5 x 30	8
Rodamientos 608ZZ	18
Tuerca M8	1
Tornillo cabeza hexagonal M8 x 40 mm	1
Tornillo sin cabeza M4 x 6 mm punta plana	8
Rodamiento 624ZZ	10
Rodamiento MR105ZZ	4
Tornillo OB M5 X 6	4
V-SLOT 20 mm X 20 mm X 1000 mm	1
V-SLOT 20 mm X 40 mm X 1000 mm	1
Tornillo OB M5 x 15	28
Tornillo OB M 5x 25	2
Polea GT2 20T 5mm	11
Correa GT2 L98 mm	2
Correa GT2 L130 mm	2
Motor 100:1 150 rpm 34 kg/cm	2
Tornillo cabeza estrella M3 x 5	12
Tornillo OB M5 x 65	4
Tornillo sin cabeza M4 x 5 punta cono	18
Rodamiento 623ZZ	1
Tornillo M3 x 16 cabeza estrella	1
Tuerca M3	4
Soporte Micrometal gearmotor, incluye tornillos y tuercas	1
Micrometal gearmotor 6 v	1

Fuente: elaboración propia

5.4.2. Piezas diseñadas y a fabricar. Los materiales se seleccionaron de acuerdo a la necesidad y facilidad de manufactura. Para la fabricación de las piezas se definieron los siguientes tipos de manufactura: mecanizado, recubrimiento de ejes, manufactura de adición, corte laser y doblado de láminas. En el cuadro 24 se presentan las piezas con su respectivo material y método de fabricación.

Cuadro 24. Caracterización del material utilizado, unidades, operación y descripción de la pieza a fabricar.

Pieza	Material	Unidades	Operación	Descripción
PG-MDC-001-2021	Duraluminio	1	Centro de mecanizado	Chasis de corte soporte del motor
PG-MDC-002-2021	Duraluminio	1	Centro de mecanizado	Soporte de rodillos de corte (potencia)

PG-MDC-003-2021	Duraluminio	1	Centro de mecanizado	Soporte de ejes de potencia (corte)
PG-MDC-004-2021	Duraluminio	1	Centro de mecanizado	Rodillo de presión para el corte
PG-MDC-005-2021	Duraluminio	16	Torno o centro de mecanizado	Soporte rodamiento
PG-MDC-006-2021	Duraluminio	1	Centro de mecanizado	Soporte cuchillas de marca
PG-MDC-007-2021	Acero 1045	2	Torno o centro de mecanizado	Rueda de marca
PG-MDC-008-2021	Duraluminio	2	Centro de mecanizado	Soporte de la rueda de marca
PG-MDC-009-2021	Duraluminio	1	Centro de mecanizado	Separador cuchillas de corte
PG-MDC-010-2021	Acero 1045	3	Torno o centro de mecanizado	Eje de potencia sección corte
PG-MDC-012-2021	PLA	1	IMPRESIÓN 3D	Guía de almacenamiento
PG-MDC-013-2021	PLA	3	IMPRESIÓN 3D	Guía de doblado superior
PG-MDC-014-2021	PLA	2	IMPRESIÓN 3D	Guía de doblado inferior
PG-MDC-015-2021	Lamina CR 16 (1,5 mm)	2	Corte laser	Chasis sección de doblado
PG-MDC-016-2021	Lamina CR 16 (1,5 mm)	1	Corte laser	Soporte de almacenamiento inferior
PG-MDC-017-2021	Lamina CR 16 (1,5 mm)	1	Corte laser	Tapa de almacenamiento frontal
PG-MDC-018-2021	Lamina CR 16 (1,5 mm)	2	Corte laser	Soporte de rieles mecanismo de corte
PG-MDC-019-2021	Lamina CR 16 (1,5 mm)	2	Corte laser	Placa de soporte de la cama de corte
PG-MDC-020-2021	Lamina CR 16 (1,5 mm)	1	Corte laser	Soporte del motor de doblado
PG-MDC-021-2021	Lamina CR 16 (1,5 mm)	2	Corte laser	Tapa de sujeción de los rodamientos superiores
PG-MDC-022-2021	Lamina CR 16 (1,5 mm)	6	Corte laser	Tapa de soporte de rodamientos inferiores
PG-MDC-023-2021	Lamina CR 11 (3 mm)	2	Corte laser	Soporte de rueda de corte
PG-MDC-024-2021	Acero 1045	2	Mecanizado y vulcanizado	Rodillo del mecanismo de corte
PG-MDC-025-2021	Acero 1045	7	Mecanizado y vulcanizado	Rodillo de doblez
PG-MDC-026-2021	Acero1045	1	Mecanizado y vulcanizado	Rodillo de doblez, doble transmisión
PG-MDC-027-2021	Acero 1045	2	Mecanizado y vulcanizado	Rodillo de potencia sección corte
PG-MDC-028-2021	MDF 2,5 mm	2	Corte laser	Base de MDF para matriz de corte
PG-MDC-029-2021	MDF 5,5 mm	2	Corte laser	Base interior de las cuchillas de corte
PG-MDC-030-2021	Poliuretano 26	2	Corte manual	Espuma expulsora 54,5 mm x 16,4 mm
PG-MDC-033-2021	MDF 2,5 mm	2	Corte laser	Soporte 1 en MDF de la base de corte
PG-MDC-034-2021	MDF 2,5 mm	2	Corte laser	Soporte 2 en MDF de la base de corte
PG-MDC-035-2021	MDF 5,5 mm	1	Corte laser	Soporte 3 en MDF de la base de corte
PG-MDC-036-2021	MDF 2,5 mm	1	Corte laser	Soporte 4 en MDF de la base de corte
PG-MDC-037-2021	MDF 2,5 mm	1	Corte laser	Soporte 4 en MDF de la base de corte
PG-MDC-039-2021	Poliuretano 26	2	Corte manual	Espuma expulsora 10 mm x 29,8 mm
PG-MDC-040-2021	MDF 5,5 mm	2	Corte laser	Base en MDF de cuchilla de corte de 29,8 mm x 15 mm
PG-MDC-041-2021	MDF 5,5 mm	2	Corte laser	Base en MDF de cuchilla de corte de 43 mm x 16 mm

PG-MDC-042-2021	Poliuretano 26	2	Corte manual	Espuma expulsora de 43 mm x 10 mm x 5,5 mm
PG-MDC-044-2021	Nylon	1	IMPRESIÓN 3D	Engranaje 40T módulo 0,5 mm, agujero 10 mm
PG-MDC-045-2021	Nylon	2	IMPRESIÓN 3D	Engranaje 40T módulo 0,5 mm, agujero 5 mm
PG-MDC-046-2021	Nylon	2	IMPRESIÓN 3D	Engranaje 80T módulo 0,5 mm ,agujero 6 mm
PG-MDC-047-2021	Nylon	1	IMPRESIÓN 3D	Engranaje 54T módulo 0,5 mm ,agujero 6 mm
PG-MDC-048-2021	Nylon	7	IMPRESIÓN 3D	Engranaje 50T módulo 0,5mm , agujero 5mm
PG-MDC-049-2021	Nylon	1	IMPRESIÓN 3D	Engranaje 50T módulo 0,5mm , agujero 3mm

Fuente: elaboración propia

6. COSTOS DE FABRICACIÓN DEL PROYECTO

En el desarrollo de cualquier proyecto se generan una serie de costos, que se definen como sistema. El sistema de costos opera en función de un producto y cumplimiento de unos objetivos definidos y el cual trabaja con los importes que se originan como el consumo de las materias primas, los materiales y demás insumos sujetos a ser procesados, los salarios de las personas involucradas directa o indirectamente, además recursos que se utilizan en el sistema de producción [38].

Se debe tener en cuenta que los costos se componen de diferentes elementos, los cuales son necesarios para la producción de un bien o servicio. Estos elementos son materiales directos, mano de obra directa, costos indirectos de fabricación y un cuarto elemento denominado contratación de terceros. También es importante la selección de los costos aunque hay diferentes clasificaciones, en este proyecto se utilizó la clasificación de acuerdo a la función en la que incurren, y especialmente en los costos de producción, que cuentan con la subclasificación: materiales directos, mano de obra directa, costos indirectos de fabricación y servicios a la producción [39].

Otra parte de los costos son las depreciaciones de los equipos y del dispositivo diseñado, los cuales tienen un valor de salvamento. Ya que en este proyecto se utilizan por el periodo de su vida útil total, por lo tanto, el costo total se ve afectado. Además de que las herramientas y equipos utilizados tienen vida útil finita y tienen un aprovechamiento por tiempo, desgaste físico esperado u obsolescencia técnica o comercial [40].

Para este proyecto se decidió dividir el cálculo de los costos en recursos humanos tanto directos como indirectos. Así mismo, los consumibles utilizados en el diseño y los que se van utilizar en la construcción del mecanismo; el costo del software usado dividido en los meses de utilización; los equipos y herramientas utilizados, las piezas normalizadas, los materiales y piezas fabricadas por proveedores externos que conforman el dispositivo diseñado y los servicios utilizados para la realización de las actividades.

6.1 COSTO RECURSOS HUMANOS

El costo de los recursos humanos se encuentra en el cuadro 25, discriminados en tres personas que son: el investigador del proyecto, el director y un auxiliar. Los dos primeros actores se encargaron del diseño del proyecto y de las actividades que se mencionan en el presente documento. El auxiliar es el costo de la mano de obra utilizada en el ensamblaje del dispositivo. Por lo tanto, los costos de los dos primeros talentos involucrados son costos indirectos, necesarios para poder tener el producto final que es el mecanismo diseñado en este proyecto. Estos costos no presentan depreciación, ya que se utilizan una única vez y contablemente no se deprecian. Por lo tanto, el costo del recurso humano corresponde a un valor de \$16.400.000 (dieciséis millones cuatrocientos mil pesos).

Cuadro 25. Costos de recurso humano.

Nombre	Formación Académica	Labor	Horas/semana	semanas	Costo hora	Total
Jorge David Moreno G.	Estudiante pregrado	Investigador	16	16	\$30.000	\$7.680.000
Andrés Gerardo Clavijo V.	Ingeniero Mecánico	Director	4	16	\$130.000	\$8.320.000
Estudiante de pregrado	Asistente para el ensamble	Auxiliar	16	1	\$25.000	\$400.000
Total, recursos humanos COP						\$16.400.000

Fuente: elaboración propia

6.2 COSTOS DE EQUIPOS Y HERRAMIENTAS

Para el desarrollo del proyecto y la futura construcción del mecanismo diseñado, es necesaria la utilización de una serie de herramientas y equipos para poderlo llevar a cabo. Entre estos elementos se encuentra el equipo de cómputo utilizado para la consulta de información y diseño en software CAD, los instrumentos de medida y herramientas de corte para la construcción de las torres de la primera prueba. Los otros equipos y herramientas son los que se deben adquirir para el ensamble y fabricación del mecanismo.

6.2.1 Costos de equipos de cómputo. Los equipos de cómputo cuentan con una depreciación, ya que son máquinas que tienen definida una vida útil finita, por lo general está es de cinco años en promedio. Se deja claro que, para el proyecto no se emplea todo este tiempo, solo se utilizó por cuatro meses. De tal manera que, el equipo se puede utilizar por otro lapso de tiempo para otros proyectos o se puede obtener un costo al ser vendido. Por lo tanto, el costo asociado se da por el tiempo de utilización del computador. De acuerdo a lo anterior se genera un valor de salvamento de \$150.000 (ciento cincuenta mil pesos). La relación de los costos se aprecia en el cuadro 26.

El cálculo de la depreciación lineal se da con la siguiente ecuación, donde:

D: depreciación

C: costo de adquisición

S: valor de salvamento

N: tiempo (años, meses)

$$D = \frac{C - S}{N}$$

Cuadro 26. Costos equipos de cómputo.

Nombre	Unidad	Costo unidad	Total	Depreciación mensual	Costo de utilización x 4 meses
Equipo de cómputo: TOSHIBA Satellite L55-C Intel Core i5-5200U 6 GB RAM	1	\$2.000.000	\$2.000.000	\$30.833,33	\$123.333,33

Fuente: elaboración propia.

6.2.2 Costos de software. El software CAD por lo general tiene licencia para un año (365 días), igualmente la licencia de Microsoft office. Es de explicar que, a los anteriores no se les extrajo todo el provecho en cuanto a su periodo de utilización y este no corresponde a la capacidad instalada. Por lo que se decidió dividir el costo de las licencias en doce meses, y asociar este costo al proyecto, ya que el tiempo restante de la licencia se puede utilizar para otros proyectos o actividades. Estos costos se presentan en el cuadro 27. Donde se obtuvo un costo de \$875.000 (ochocientos setenta y cinco mil) pesos del software.

Cuadro 27. Costos de software.

Nombre	Unidades	Costo unidad	Total	Utilización mensual	Costo de utilización x 4 meses
INVENTOR AUTODESK 2020	1	\$2.500.000	\$2.500.000,00	\$208.333,33	\$833.333,33
OFFICE HOME 365	1	\$125.000	\$125.000,00	\$10.416,67	\$41.666,67
Total					\$875.000,00

Fuente: elaboración propia.

6.2.3 Costos consumibles. Para la construcción y funcionamiento del mecanismo se requieren herramientas e insumos que permitan fabricar y mantener el dispositivo durante la competencia. El listado se presenta con su respectivo costo en el cuadro 28. Los precios son obtenidos de fuentes comerciales como Homecenter, Ferri Centro, Easy, ferreterías a nivel nacional y tiendas que suministran este tipo de insumos (Precios a agosto de 2021). Se debe tener en cuenta que estos tipos de consumibles son de único uso, por lo tanto, en este caso se cargan al costo total del proyecto.

Cuadro 28. Costos de consumibles.

Nombre	Unidades	Costo unidad	Total
RESMAS DE PAPEL	1	\$10.000	\$10.000,00
Paquete cuchillas minora	2	\$2.000	\$4.000
Pegante madera x 250 gramos	1	\$11.900	\$11.900
Cinta transparente	1	\$5.000	\$5.000
Broca 6 mm hss	1	\$3.200	\$3.200
Machuelo M5 hss	1	\$54.026	\$54.026
Hoja de segueta bimetálica de 18T x12"	1	\$3.750	\$3.750
Total			\$91.876,00

Fuente: elaboración propia.

6.2.4 Costos herramientas y máquinas. Las herramientas y máquinas utilizadas en el proyecto se convierten en activos fijos que tienen una depreciación y en algunos casos un valor de salvamento. De modo que, su vida útil es definida y posee más duración que el tiempo que dura el proyecto. por lo tanto, se obtiene el costo durante la elaboración del proyecto con una depreciación de línea recta. Donde al finalizar el proyecto el costo recuperable por proyección equivale es de \$677.159 pesos (seiscientos setenta y siete mil ciento cincuenta y nueve). Por lo que, el costo para el proyecto solo sería de \$ 106.790 pesos (ciento seis mil setecientos noventa) pesos, y estos equipos o recursos se pueden aprovechar en otro proyecto de la universidad.

Cuadro 29. Costos de equipos.

Nombre	Unidades	Costo unidad	Total	Tiempo años	Depreciación anual	Costo al final del proyecto
Calibrador vernier de 150 mm análogo	1	\$80.000	\$80.000	5	\$16.000	\$64.000
Regla 50 cm x 5 cm	2	\$ 15.000	\$ 30.000	5	\$ 6.000	\$ 24.000
Flexómetro 5 m x 3/4 "	1	\$15.000	\$15.000	5	\$3.000	\$12.000
Tijeras 7 pulgadas acero inoxidable	1	\$3.000	\$3.000	5	\$600	\$ 2.400
Bisturí multiusos de 19 mm	1	\$2.000	\$2.000	5	\$400	\$1.600
Juego llaves tipo Allen o Bristol	1	\$26.999	\$26.999	5	\$ 5.400	\$ 21.599
Llave mixta 13mm	1	\$11.900	\$11.900	5	\$2.380	\$9.520
Llave mixta 8mm	1	\$9.250	\$9.250	5	\$1.850	\$7.400
Prensa 4" TIPO C	2	\$39.900	\$79.800	5	\$15.960	\$ 63.840
Taladro de Árbol 500W 580 mm, Mandril 16 mm ,5 vel	1	\$500.000	\$500.000	10	\$50.000	\$450.000
Marco de segueta 12"	1	\$26.000	\$26.000	5	\$ 5.200	\$20.800
Total					\$ 106.790	\$677.159

Fuente: elaboración propia.

6.3 COSTOS MATERIALES, PIEZAS Y TAREAS TERCERIZADAS

Los costos de las piezas normalizadas, los materiales utilizados y la tercerización de las piezas, se clasifican en este apartado. Ya que todas las piezas a fabricar van a ser procesadas por proveedores externos, los costos fueron suministrados por medio de cotizaciones.

6.3.1 Tareas tercerizadas. Para la fabricación de las piezas diseñadas, se recomienda la fabricación de estas por proveedores externos, los cuales entregan el producto terminado según las especificaciones dadas en los planos y otros documentos. Los costos se obtuvieron por medio de cotizaciones realizadas a distintos proveedores especializados en cada uno de sus campos y se presentan en el cuadro 30. Estas cotizaciones se presentan en los **anexos C**, donde el costo de la fabricación por parte de terceros corresponde a \$4.903.051 pesos (cuatro millones novecientos tres mil cincuenta y uno).

Cuadro 30. Costos piezas fabricadas por proveedores externos.

Nombre	Unidades	Costo unidad	Total
Rodillos vulcanizados 25 mm	4	\$140.000	\$560.000
Rodillos vulcanizados 16 mm	8	\$180.000	\$1.440.000
Engranaje 80D paso 0,5	2	\$7.250	\$14.500,00
Engranaje 54D paso 0,5	1	\$1.557	\$1.557
Engranaje 50D paso 0,5	7	\$3.536	\$24.752
Engranaje 50D paso 0,5 conducido	1	\$2.157	\$2.157
Engranaje 40D paso 0,5	2	\$1.557	\$3.114
Engranaje 40D paso 0,5	2	\$1.557	\$3.114
Guía inferior	2	\$30.971	\$61.942
Guía doblado	3	\$44.559	\$133.677
Guía almacenamiento	1	\$20.786	\$20.786
Chasis corte superior	1	\$211.820,00	\$211.820,00
Soporte rodillos de corte potencia	1	\$102.340,00	\$102.340,00
Soporte ejes potencia corte	1	\$172.550,00	\$172.550,00
Rodillo de presión corte	1	\$107.100,00	\$107.100,00
Soporte rodamiento	16	\$26.180,00	\$418.880,00
soporte Cuchillas de marca	1	\$565.250,00	\$565.250,00
Rueda de marca	2	\$33.320,00	\$66.640,00
Soporte rueda de marca	2	\$198.730,00	\$397.460,00
Separador cuchilla de corte	1	\$276.080,00	\$276.080,00
Ejes de potencia sección corte	3	\$49.980,00	\$149.940,00
Corte laser	20	\$ 3.332,00	\$ 66.640,00
MATERIAL HR	1	\$ 69.718,53	\$ 69.718,53
Material CR	1	\$33.033,21	\$33.033,21
Total			\$4.903.051

Fuente: elaboración propia.

6.3.2 Costo piezas normalizadas, perfiles OB y espuma. Para construir el mecanismo también son necesarias piezas como rodamientos, tornillos y perfiles. Los cuales hacen parte de la estructura del dispositivo, su costo por unidad y total se relaciona en el cuadro 31.

Cuadro 31. Costos de piezas normalizadas y perfiles.

Nombre	Unidades	Costo unidad	Total
Angle corner connector	8	\$8.211	\$65.688
Tuercas en T	12	\$499	\$5.988
Rueda	8	\$3.332	\$26.656
Rodamientos 625ZZ	18	\$2.023	\$36.414
Espaciador de aluminio 9mm	8	\$595	\$4.760
Arandela de precisión 10 x 5 x 1 mm	12	\$499	\$5.988
soporte motor NEMA 17	1	\$20.111	\$20.111

Motor NEMA 17	1	\$67.800	\$67.800
Tuerca de seguridad M5 Nylon	54	\$404	\$21.816
Tornillo M3 x 6 cabeza plana avellanada	4	\$202	\$808
Tuerca doble T	3	\$1.094	\$3.282
Angulo de 90° unión, incluye tornillos	4	\$3.927	\$15.708
Arandela shim 12 x 8,1 x 1	3	\$404	\$1.212
Tornillo OB M5 x 10	42	\$523	\$21.966
Tornillo OB M5 x 30	8	\$797	\$6.376
Rodamientos 608ZZ	18	\$2.023	\$36.414
Tuerca M8	1	\$999	\$999
Tornillo cabeza hexagonal M8 x 40	1	\$2.806	\$2.806
Tornillo sin cabeza M4 x 6 punta plana	8	\$249	\$1.992
Rodamiento 624ZZ	10	\$2.023	\$20.230
Rodamiento MR105ZZ	4	\$2.499	\$9.996
Tornillo OB M5 X 6	4	\$452	\$1.808
V-SLOT 20 X 20 X 1000	1	\$21.301	\$21.301
V-SLOT 20 X 40 X 1000	1	\$44.030	\$44.030
Tornillo OB M5 x 15	28	\$583	\$16.324
Tornillo OB M5 x 25	2	\$702	\$1.404
Polea GT2 20T 5 mm	11	\$2.856	\$31.416
Correa GT2 L98 mm	2	\$2.261	\$4.522
Correa GT2 L130 mm	2	\$2.856	\$5.712
Motor 100:1 150 rpm 34 kg/cm	2	\$172.500	\$345.000
Tornillo cabeza estrella M3 x 5	12	\$202	\$2.424
Tornillo OB M5 x 65	4	\$1.428	\$5.712
Tornillo sin cabeza M4 x 5 punta cono	18	\$249	\$4.482
Rodamiento 623ZZ	1	\$1.547	\$1.547
Tornillo M3 x 16 cabeza estrella	1	\$202	\$202
Tuerca M3	4	\$452	\$1.808
Soporte Micro metal gearmotor, incluye tornillos y tuercas.	1	\$19.040	\$19.040
Micrometal gearmotor 6 V	1	\$172.000	\$172.000
Retaso espuma densidad 26	1	\$5.000	\$5.000
Total			\$1.060.742

Fuente: elaboración propia.

Es importante resaltar que la mayoría de piezas normalizadas y nombradas en este apartado se pueden reutilizar en futuros proyectos realizados por la universidad ya que su vida útil es mayor que la del tiempo del proyecto.

6.4 RESUMEN Y DETERMINACIÓN DEL COSTO

Para determinar los costos se efectúa la suma de los valores obtenidos en cada uno de los ítems, teniendo en cuenta los aspectos de la depreciación para algunos elementos, como son los equipos de cómputo con el software, las herramientas y equipos, los cuales solo se emplean solo una parte de su vida útil y se carga únicamente el valor de la depreciación por el tiempo utilizado al costo final del equipo[41].

También, se calcula el porcentaje que cada ítem representa en el costo final. A partir de ello se concluye que, el costo del recurso humano es el de mayor representación con un porcentaje de 69,61% y es seguido por los costos de fabricación por terceros que corresponden al 20,81% del costo total de \$23.560.791,87 pesos (veinte tres millones quinientos sesenta mil setecientos noventa y uno coma ochenta y siete centésimos). Para llegar a este valor, se tuvo en cuenta el global de todos los costos que se requieren para poder elaborar el mecanismo desde el diseño hasta su construcción.

Cuadro 32. Costo total del dispositivo.

Descripción costo	Costo	% Costo
Equipo de computo	\$123.333,33	0,52%
Herramientas y equipo	\$106.789,80	0,45%
Software	\$875.000,00	3,71%
Consumibles	\$91.876,00	0,39%
Piezas normalizadas	\$1.060.742,00	4,50%
Costo fabricación terceros	\$ 4.903.050,74	20,81%
Recursos humanos	\$16.400.000,00	69,61%
Total	\$23.560.791,87	

Fuente: elaboración propia.

7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

7.1 CONCLUSIONES

El diseño de las torres de papel fue bastante extenso pero enriquecedor, debido a que se pueden proponer diversas maneras de construirlas. Por lo cual, es indispensable delimitar el problema para que el proceso de selección no se torne tedioso y tal vez confuso, ya que el reglamento solo estipula que el papel solo puede ser doblado, cortado y unido mecánicamente. Además, que la construcción de las torres es el paso primordial para poder ejecutar el proyecto, porque al no definir la pieza a fabricar, tampoco se pueden ordenar los procesos a realizar por el mecanismo.

Para la selección de alternativas del diseño del mecanismo se estudiaron varios ítems de la matriz de evaluación que en su mayoría no son cuantitativos y dependen de la experiencia, lo cual se convirtió en un reto para poder seleccionar los más apropiados. También, se analizaron otras máquinas en el estado del arte con características similares para poder elegir la más adecuada. Así mismo, se tuvo en cuenta que las ideas seleccionadas fueran semejantes a máquinas funcionales para poder garantizar el funcionamiento del mecanismo.

En el diseño del mecanismo se presentaron desafíos con respecto a la especificación del volumen ocupado. Por esta razón, se decide la selección de mecanismos compactos, porque el volumen definido debe incluir las herramientas y baterías para las posibles reparaciones. Con lo anterior se logra cumplir la condición de espacio dada por el reglamento dejando el campo para incluir los mecanismos de formado y ensamble.

Para el diseño del mecanismo se optó por usar en su mayoría piezas normalizadas o prefabricadas, ya que son de fácil consecución y permiten flexibilidad en el diseño. Además, su costo es reducido en comparación con las piezas que se deben fabricar, un caso comparable son los rodamientos en referencia a su soporte diseñado, ya que el rodamiento de mayor costo es \$2.023 y cada soporte \$26.180 pesos. Incluso estas piezas pueden ser reutilizadas en proyectos futuros.

7.2 RECOMENDACIONES

Se recomienda incentivar este tipo de proyectos en semilleros de investigación para tener más puntos de vista e ideas ingeniosas. Estos retos requieren de bastante tiempo para la investigación, desarrollo e innovación, que permitan generar soluciones de manera asertiva y pertinente a determinado problema. A lo anterior se le suma la construcción, afincamiento y conceptualización de los conocimientos en el área del diseño tanto mecánico como electrónico.

Se sugiere el uso de módulos ensamblables entre si, de esta manera se puede aprovechar al máximo el espacio en el que se puede transportar el mecanismo con sus herramientas y baterías que corresponde a 50 cm x 50 cm x 50 cm, para dar cumplimiento al reglamento.

Se aconseja revisar la literatura sobre formado de cajas para la siguiente etapa y buscar información de máquinas que construyan o unan piezas, teniendo en cuenta que estas son ensamblables de manera modular.

8.REFERENCIAS

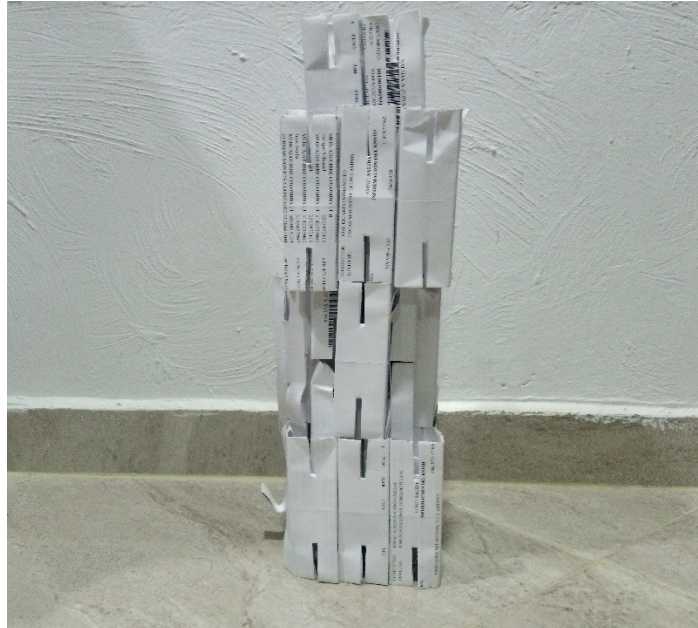
- [1] American Society of Mechanical Engineers, “ASME E-Fests™.” [Online]. Available: <https://efests.asme.org/#about>. [Accessed: 27-Sep-2019].
- [2] American Society of Mechanical Engineers, “American Society of Mechanical Engineers Student Design Competition,” 2019. [Online]. Available: https://efests.asme.org/EFests/media/public/resources/2020_SDC-Competition-Rules.pdf. [Accessed: 27-Sep-2019].
- [3] American Society of Mechanical Engineers, “Student Design Competition (SDC) | ASME E-Fests™.” [Online]. Available: [https://efests.asme.org/competitions/student-design-competition-\(sdc\)](https://efests.asme.org/competitions/student-design-competition-(sdc)). [Accessed: 20-Aug-2019].
- [4] Miyachi Amada America, “Cabezales | Definición de cabezales.” [Online]. Available: <http://spanish.amadamiyachi.com/glossary/glossstages>. [Accessed: 08-Oct-2019].
- [5] Cyecsa Guadalajara, “Cajas de cartón | Suajes en cartón | Cyecsa Guadalajara.” [Online]. Available: <https://www.cyecsa.com/cajas-de-carton/suajes-cajas-de-carton/>. [Accessed: 21-Feb-2020].
- [6] Real Academia Española, “hendido, da | Definición de hendido, da - «Diccionario de la lengua española» - Edición del Tricentenario.” .
- [7] BOBST, “Impresión flexográfica - troquelado rotativo - Proceso de impresión flexográfica y troquelado rotativo en línea.” .
- [8] Diprax, “Ventosas | Diprax.” [Online]. Available: <http://www.diprax.es/vacio-industrial/ventosas/>. [Accessed: 25-Feb-2020].
- [9] E. Stanley, “Paper bag machinery,” US432742, 1890.
- [10] Heidelberg, “Easygluer 100. | Heidelberg Druckmaschinen AG.” [Online]. Available: https://www.heidelberg.com/ca/en/products/postpress/folding_carton_gluing/easygluer_100/product_information_73/easygluer_100.jsp#_. [Accessed: 22-Feb-2020].
- [11] Heidelberg India, “Heidelberg India - Easygluer 100 - YouTube,” 2015. [Online]. Available: https://www.youtube.com/watch?v=c3DT67_0vGE. [Accessed: 25-Feb-2020].
- [12] Stitching and Gluing Solutions, “Vega Polaris 90 110 Folder Gluer - YouTube,” 2016. [Online]. Available: <https://www.youtube.com/watch?v=MNcPAO5JGZE>. [Accessed: 25-Feb-2020].
- [13] W. Lehmann, “Paper-Folding machine with adjustable folding rollers,” US005242364, 1993.
- [14] Cyklos, “Paper Folder CFM 600 | cyklos.eu.” [Online]. Available: <https://www.cyklos.eu/products/category/folding/product/paper-folder-cfm-600>. [Accessed: 28-Feb-2020].
- [15] Martin yale, “Martin yale 7200.” .
- [16] ABB maquinas, “ABB Maquinas Plegadora TF MEGA Product Summary.” .
- [17] W. Lehmann, R. Fecker, and M. Fuss, “Paper folding machine,” US4573672, 1986.
- [18] AOPACK, “Corrugated Box Machine BM2508,” 2019. [Online]. Available: <https://www.aopackmachine.com/corrugated-box-machine/>. [Accessed: 20-Sep-2019].
- [19] Zemat Technology Group, “BOXMAT 2 - Semi-automatic box making machine.” [Online]. Available: <https://www.zemat.com/en/boxmakers/boxmat-2>. [Accessed: 02-Mar-2020].
- [20] Kolbus America Inc., “BCS AutoBOX | Custom & Flexible Cardboard Box Making

- Machine.” [Online]. Available: <https://www.autoboxmachinery.com/us/products/box-making/post/autobox-1/>. [Accessed: 02-Mar-2020].
- [21] Zemat Technology Group, “BOXMAT 2 Semi-automatic box making machine.”
- [22] AOPACK, “Qingdao Aopack On Demand Packaging Co ., Ltd .” .
- [23] Troqueles sanchez, “Troquel rotativo - Troqueles Sánchez.” [Online]. Available: <http://troquelessanchez.com/troquel-rotativo/>. [Accessed: 05-Mar-2020].
- [24] Hadesheng group, “Troquel rotativo | Cilindro de troquelado macizo | HADESHENG.” [Online]. Available: <http://rotary-die.com/1-1-1-solid-rotary-die/186674/>. [Accessed: 05-Mar-2020].
- [25] Hadesheng group, “Troquel rotativo ajustable | Herramienta de troquelado | HADESHENG.” [Online]. Available: <http://rotary-die.com/1-1-8-vari-score-vari-punch-unit/186666/>. [Accessed: 05-Mar-2020].
- [26] “TroquelesCutting Dies - Tools Corrugated - Troqueles rotativos -Tools Corrugated – Troqueles rotativos –.” [Online]. Available: <http://www.toolscorrugated.com/troqueles/>. [Accessed: 05-Mar-2020].
- [27] Dimatek, “Suajadora Lineal Modelo ATX1000ME, Para corte y fabricación de cajas de cartón. - YouTube.” [Online]. Available: <https://www.youtube.com/watch?v=1L7VoFN3M4k>. [Accessed: 14-Mar-2020].
- [28] Suajes mexico, “Suajadora de rodillos -MINITEC- - YouTube.” [Online]. Available: <https://www.youtube.com/watch?v=Ovuk05TLsb0>. [Accessed: 14-Mar-2020].
- [29] BOSCH, “Cobra Carton Former - Bosch Packaging Technology - Catálogo PDF | Documentación técnica | Brochure,” 2008. [Online]. Available: <https://pdf.directindustry.es/pdf-en/bosch-packaging-technology/cobra-carton-former/61849-101061.html#open>. [Accessed: 24-Sep-2019].
- [30] Lantech, “Case Erector - Case Erectors - Carton Erectors - Advantages | Lantech.” [Online]. Available: <https://www.lantech.com/case-equipment/case-erector/advantages?region=1>. [Accessed: 18-Mar-2020].
- [31] DNC packaging, “Formadora automática de cajas de cartón BE - DNC - Catálogo PDF | Documentación técnica | Brochure.” [Online]. Available: <https://pdf.directindustry.es/pdf/dnc/formadora-automatica-cajas-carton-be/62317-432243.html#open>. [Accessed: 30-Sep-2019].
- [32] KeyMac, “Custom & Ancillary Equipment – KeyMac,” 2020. [Online]. Available: <https://www.keymac.co.uk/index.php/custom-ancillary-equipment/>. [Accessed: 18-Mar-2020].
- [33] D. ULLMAN, *The mechanical design process fourth editon.*, 4th ed. NEW YORK: McGraw Hill, 2010.
- [34] M. ALICIA, “¿Qué características tiene el nylon en la impresión 3D?,” 12/03/2020, Mar-2020.
- [35] Compañía general de aceros, “DURALUMINIO/ALEACIÓN NO FERROSA,” 2021. [Online]. Available: <https://www.cga.com.co/producto/duraluminio-7075-t6/>. [Accessed: 23-Aug-2021].
- [36] Compañía general de aceros, “Acero AISI/SAE 1045,” 2021. [Online]. Available: <https://www.cga.com.co/producto/acero-aisi-sae-1045/>. [Accessed: 21-Aug-2021].
- [37] Ferrecortes s.a.s., “Acero 1045,” 2021. [Online]. Available: <https://www.ferrocortes.com.co/acero-sae-1045/>. [Accessed: 23-Aug-2021].
- [38] M. ; RAMIREZ MOLINARES, CARLOS VICENTE; GARCIA BARBOSA and C. R.

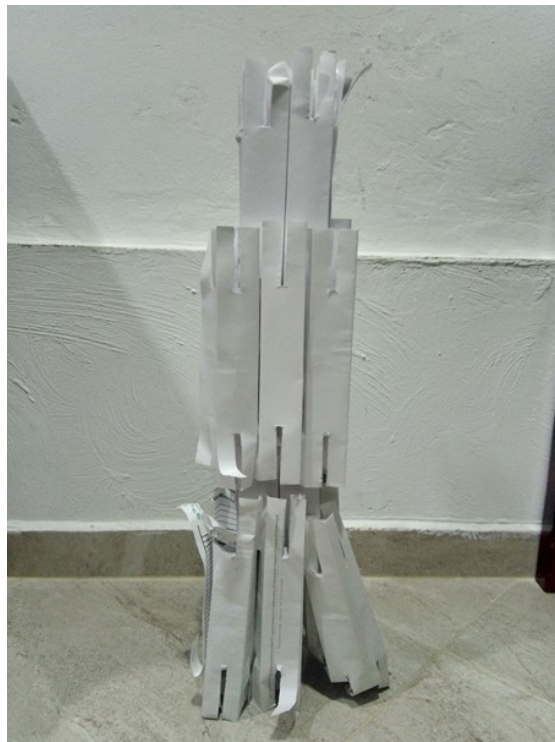
- PANTOJA ALGARIN, *Fundamentos y técnicas de costos*. Editorial Universidad Libre, Sede Cartagena, 2010.
- [39] C. A. Amaya Osorio, K. Y. Sandoval Jaimes, Y. Y. Cruz Sanabria, D. S. Quintero García, and B. A. Moya Porras, “Costos y presupuestos conceptos básicos,” *Costos y Presup. conceptos básicos*, pp. 1–52, 2020, doi: 10.15332/dt.inv.2020.01008.
- [40] DIAN, “Resolución 00014 de 14-02-2020.” 2020.
- [41] A. Zugarramurdi, *Ingeniería económica aplicada a la industria pesquera*, Organizaci. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación Roma, 1998.

ANEXO A
FOTOGRAFÍAS DE TORRES CONSTRUIDAS DE DOS PISOS.

A.1 CONSTRUCCIÓN CON PIEZA PR108



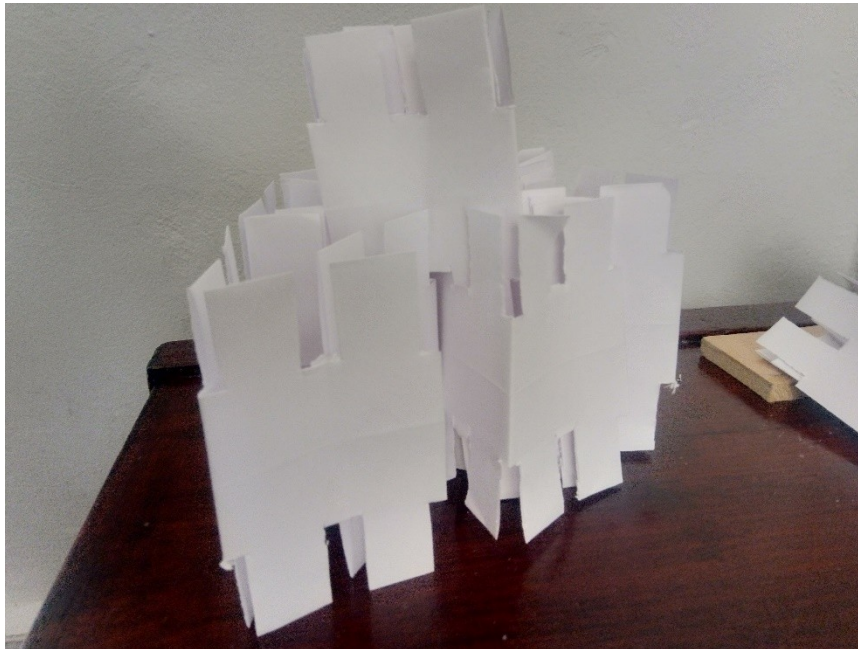
A.2 CONSTRUCCIÓN CON PIEZA PR216



A.3 CONSTRUCCIÓN CON PIEZA PR162



A.4 CONSTRUCCIÓN CON PIEZA PT108

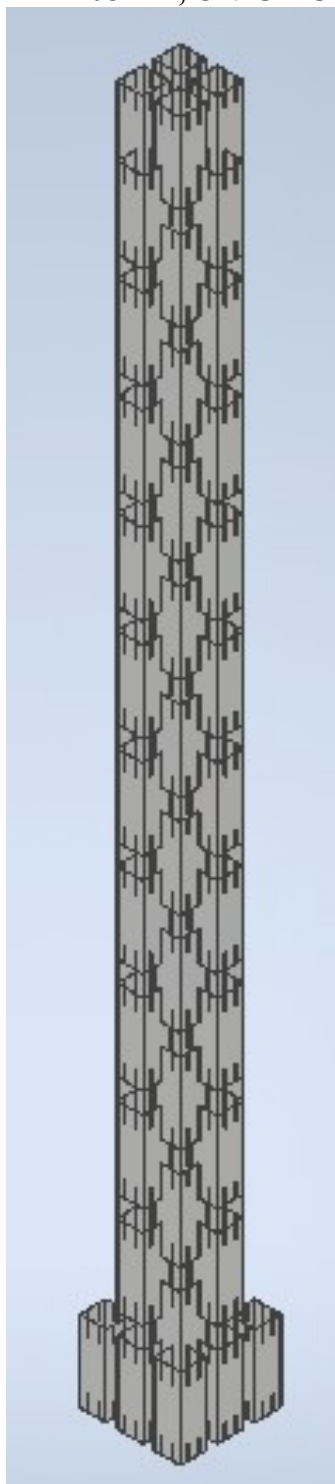


A.5 CONSTRUCCIÓN CON PIEZA PT139

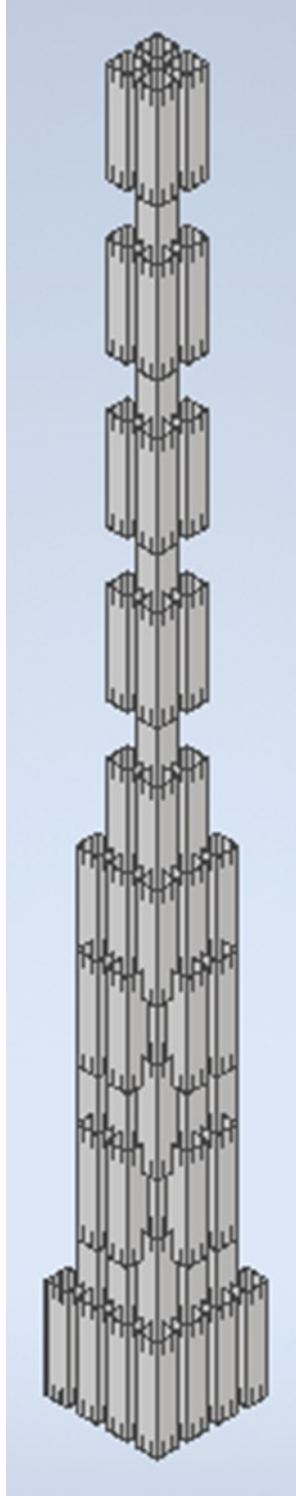


Fuente: elaboración propia.

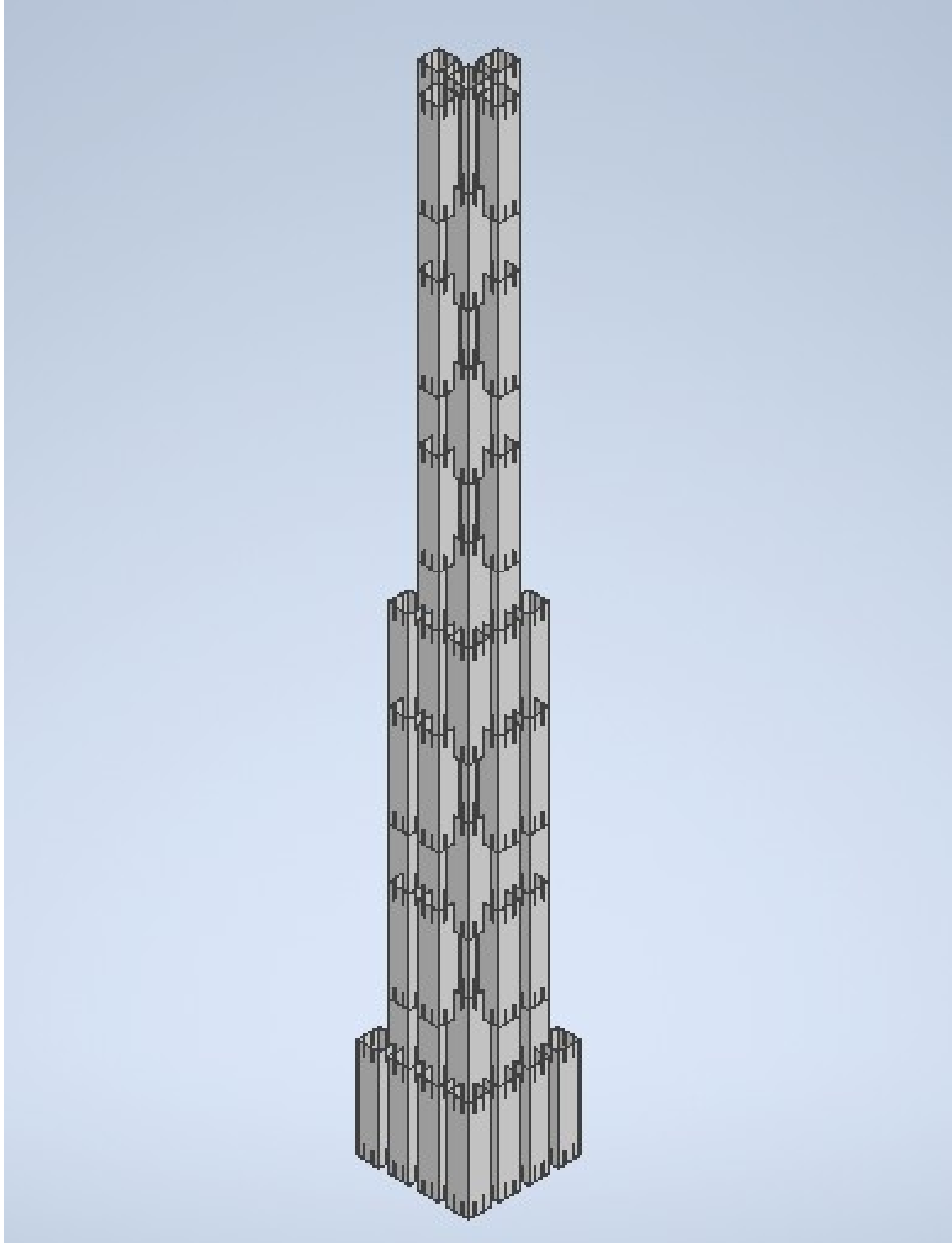
ANEXO B
CONSTRUCCIÓN DE TORRES EN CAD.
B.1 CAD DE TORRE CON PIEZA PR108-M2, ÚNICA CONSTRUCCIÓN.



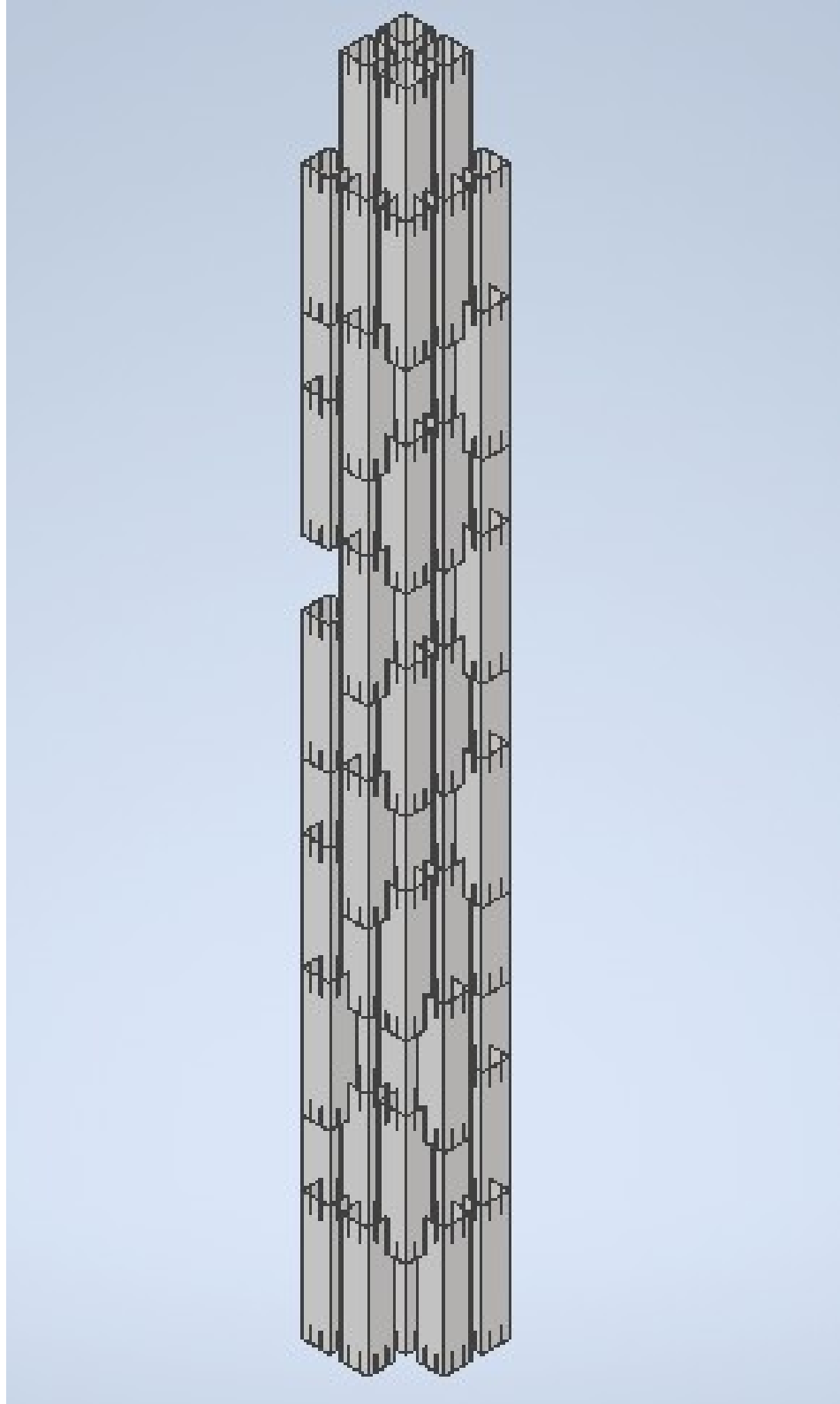
B.2 CAD TORRE DE PAPEL CON FICHA PR162-M2, CONSTRUCCIÓN 1.



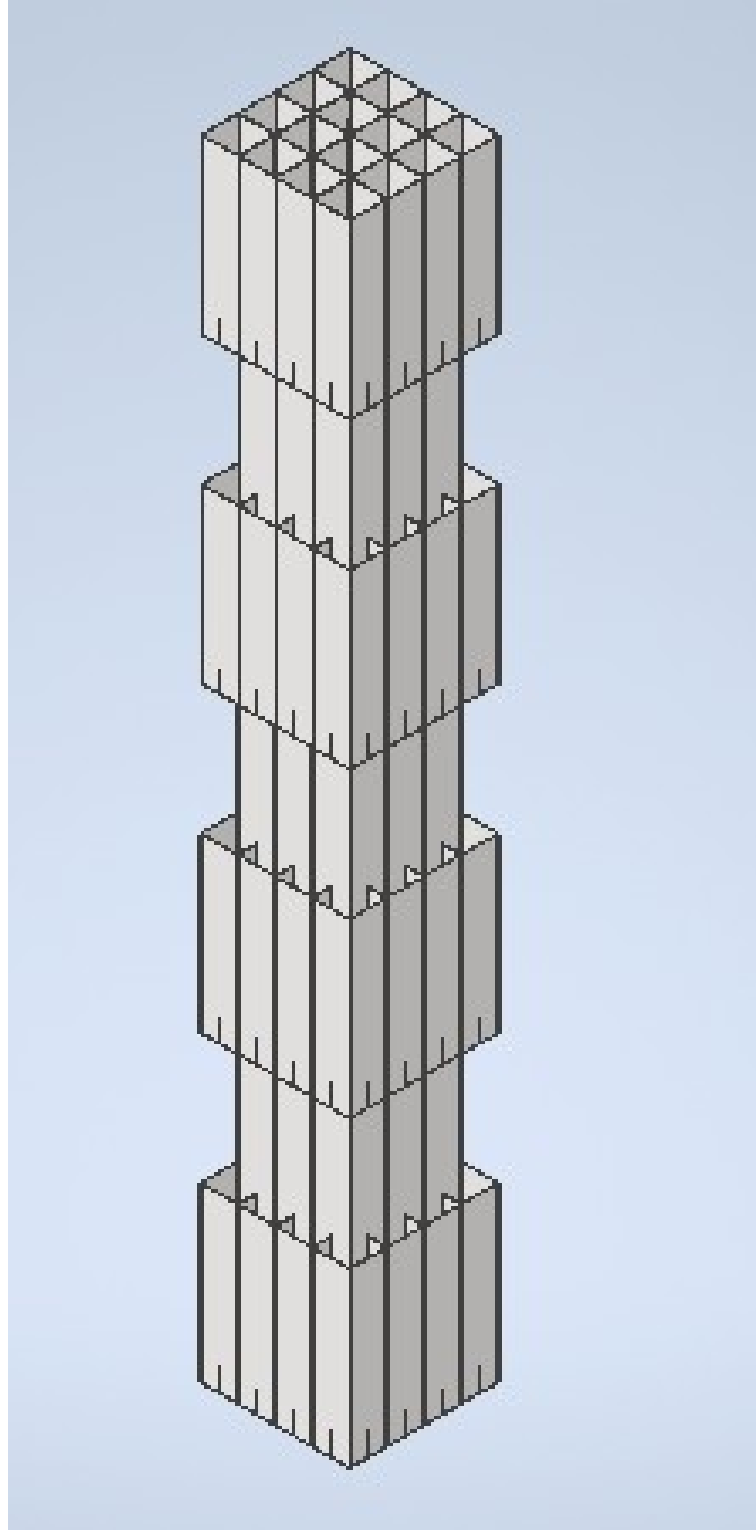
B.3 CAD TORRE DE PAPEL CON FICHA PR162-M2, CONSTRUCCIÓN 2.



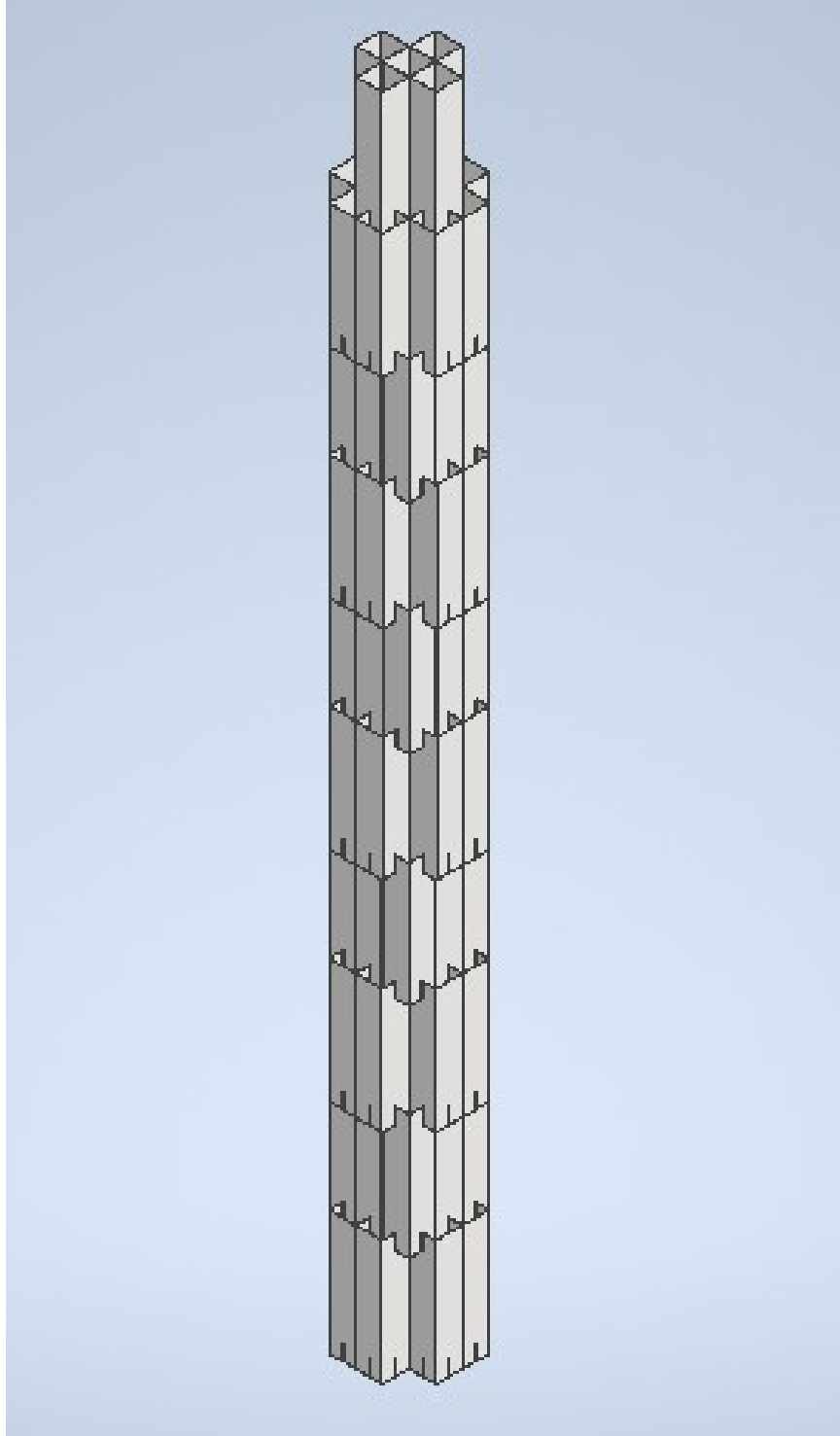
B.4 CAD TORRE DE PAPEL CON FICHA PR162-M2, CONSTRUCCIÓN 3.



B.5 CAD TORRE DE PAPEL CON FICHA PR162-M3, CONSTRUCCIÓN 1.



B.6 CAD TORRE DE PAPEL CON FICHA PR162-M3, CONSTRUCCIÓN 2.



Fuente: Elaboración propia

ANEXO C
COTIZACIONES PIEZAS A MANUFACTURAR

C.1 COTIZACIÓN RODILLOS MECANIZADOS Y VULCANIZADOS.



Bogotá, Agosto 11 de 2021

Señores:
JÓRGE DAVID MORENO GARAVITO
Ciudad

Asunto: Cotización

Por medio de la presente tengo el agrado de dar respuesta a su amable solicitud de cotización recubrimiento de ejes:

DETALLE	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	VALOR TOTAL
EJE ENCAUCHETADO MECANISMO CORTE	2	140.000,00	280.000,00
RODILLO DOBLEZ	7	180.000,00	1.260.000,00
EJE SUPERIOR DOBLEZ	7	180.000,00	1.260.000,00
EJE DE POTENCIA CORTE	2	140.000,00	280.000,00
SUBTOTAL			3.120.000,00
IVA 19%			592.800,00
TOTAL NETO			3.712.800,00

ANTICIPO 50% PARA EMPEZAR FABRICACION

CUENTA CORRIENTE No.28807658-1 BANCO DE OCCIDENTE A NOMBRE DE INDUVEL IND S.A.S
NIT.900.377.824-5

Atento a sus indicaciones para poder brindarle nuestro compromiso y servicio.

Cordialmente,

Álvaro Velandia Bernal
Gerente

CALLE 78 N 26-42 TEL: 2252219 - 5420292 BOGOTÁ - COLOMBIA

Fuente: elaborado por Álvaro Velandia Bernal

C.2 COTIZACIÓN PIEZAS IMPRESIÓN 3D SUMINISTRADA POR ARROW I 3D

SERVICIO DE IMPRESIÓN 3D



MATERIAL	ARCHIVO	COLOR	CALIDAD	RELLENO	VALOR UND SIN IVA	CANTIDAD	VALOR TOTAL SIN IVA
NYLON	Engranaje recto 40mm	Variable	ALTA (0,14mm)	100%	\$ 7.250	1	\$ 7.250
NYLON	Engranaje recto 25mm	Variable	ALTA (0,14mm)	100%	\$ 3.536	1	\$ 3.536
NYLON	Engranaje recto 25 cond	Variable	ALTA (0,14mm)	100%	\$ 2.157	1	\$ 2.157
NYLON	Engranaje recto 20mm	Variable	ALTA (0,14mm)	100%	\$ 1.557	1	\$ 1.557
NYLON	Engranaje recto 20 lc	Variable	ALTA (0,14mm)	100%	\$ 1.557	1	\$ 1.557
NYLON	Engranaje recto 17	Variable	ALTA (0,14mm)	100%	\$ 1.557	1	\$ 1.557
PLA	Guia Inferior	Variable	ALTA (0,14mm)	100%	\$ 30.971	1	\$ 30.971
PLA	Guia doblado	Variable	ALTA (0,14mm)	100%	\$ 44.559	1	\$ 44.559
PLA	Guia Almacenamiento	Variable	ALTA (0,14mm)	100%	\$ 20.786	1	\$ 20.786

Descuento

Subtotal \$ **113.928**

IVA \$ **21.646**

Total \$ **135.575**

Fuente: elaboración de ARROWI 3D

C.3 COTIZACIÓN CORTE LASER POR BOOMERANG S.A.S.

Jorge david (platinas)				Fecha:3/08/2021	
Servicio	Descripcion		Precio unitario	Cantidad	Precio total
Corte laser			2800	20	\$ 56.000

Material	Material Hr	Calibre 11	\$ 468.697	\$ 58.587	1	\$ 58.587
Material	Material Cr	Calibre 16	\$ 222.075	\$ 27.759	1	\$ 27.759

Precio sin iva	\$ 142.347
Tasa iva	0,19
Iva	\$ 27.046
Precio con iva	\$ 169.392

Fuente: elaborado por Boomerang S.A.S.

C.4 COTIZACIÓN MECANIZADOS SUMINISTRADO POR MECA&TRO.



meca&tro
MECANIZADOS Y TROQUELADOS S.A.S.

Troqueles Industriales | Dispositivos Mecánicos | Piezas Especiales
Centros de Mecanizado | Torno CNC de Producción | Erosionado por Hilo
Troquelado en Serie hasta 100 Ton. | Soldaduras
Nuevo Servicio: Impresión 3D (FFF)

NIT: 900 233 447 - 0
FC-045 | Rev. 4 | 2019-12-20

COTIZACIÓN
No. 182-2021

Fecha: Octubre 15 de 2021

Emitida a:
Sr. Jorge David Moreno Garavito

Cordial saludo:

En atención a su solicitud, presentamos nuestra mejor oferta para la(s) fabricación(es) y/o servicio(s) descritos a continuación:

Descripción	Cant.	Precio Unit.	Precio Total
Fabricación: Pieza PG-MDC-001 Chasis Corte Soporte Motor Material: Duraluminio	1	\$ 178.000	\$ 178.000
Fabricación: PG-MDC-002 Soporte Rodillos de Corte Potencia Material: Duraluminio	1	\$ 86.000	\$ 86.000
Fabricación: PG-MDC-003 Soporte Ejes Potencia Corte Material: Duraluminio	1	\$ 145.000	\$ 145.000
Fabricación: PG-MDC-004 Rodillo de Presión de Corte Material: Duraluminio	1	\$ 90.000	\$ 90.000
Fabricación PG-MDC-005 Soporte Rodamiento Material: Duraluminio	16	\$ 22.000	\$ 352.000
Fabricación: PG-MDC-006 Soporte Cuchillas de Marca Material: Duraluminio	1	\$ 475.000	\$ 475.000
Fabricación: PG-MDC-007 Rueda de Marca Material: Acero AISI SAE 1045	2	\$ 28.000	\$ 56.000
Fabricación: PG-MDC-008 Soporte Rueda de Marca Material: Duraluminio	2	\$ 167.000	\$ 334.000
Fabricación: PG-MDC-009 Separador Cuchillas de Corte Material: Duraluminio	1	\$ 232.000	\$ 232.000
PG-MDC-010 Ejes de Potencia Sección Corte Material: Acero AISI SAE 4140	3	\$ 42.000	\$ 126.000

Terminos y Condiciones Generales:

- Validez de la Oferta: 8 días.
- Forma de Pago: 50% anticipo, 50% contra entrega.
- Tiempo de entrega: 20 días hábiles, después de recibir Orden de Compra.

Subtotal \$ 2.074.000

IVA 19% \$ 394.060

PRECIO TOTAL \$ 2.468.060

¿Listo para comprar?

1. Confirme la realización de su trabajo enviando **Orden de Compra** únicamente a los correos electrónicos: compras@meca&tro.com.co - calidad@meca&tro.com.co.
2. Realice el pago de su trabajo únicamente mediante **TRANSFERENCIA ELECTRÓNICA** - Cuenta Corriente Bancolombia 21125259393.
NO RECIBIMOS PAGOS EN EFECTIVO.

1994 - 2021: Una empresa con presencia nacional al servicio de la Industria Colombiana

📍 Calle 15 # 52 - 14 (Bogotá, Colombia)
☎ (+571) 261 2427

📞 (+57) 310 8070260

🌐 <https://www.meca&tro.com.co>
✉ gerencia@meca&tro.com.co

📘 Mecanizados y Troquelados



mecaytro
MECANIZADOS Y TROQUELADOS S.A.S.

Troqueles Industriales · Dispositivos Mecánicos · Piezas Especiales
Centros de Mecanizado · Torno CNC de Producción · Erosionado por Hilo
Troquelado en Serie hasta 100 Ton · Soldaduras
Nuevo Servicio: Impresión 3D (FFF)

NIT: 800.231.447 - 1
C.C. 045 - Bv. 4 | 2013-12-22

Observaciones:

- Todos los elementos cotizados según planos y modelos 3D suministrados por el cliente. Cualquier modificación dimensional invalida la presente cotización.
- Precio no incluye tratamientos térmicos ni recubrimientos superficiales.
- Lugar de entrega: Instalaciones de Mecanizados y Troquelados.

Agradecemos la atención prestada y estaremos atentos a sus comentarios.

Cordialmente:

Carlos Antonio Umaña León

GERENTE

Tel: (+571) 261 2427 Ext. 109 | Cel: (+57) 310 807 82 78

Correo: gerencia@mecaytro.com.co

¡Listo para comprar?

1. Confirme la realización de su trabajo enviando **Orden de Compra** únicamente a los correos electrónicos: compra@mecaytro.com.co - calidad@mecaytro.com.co.

2. Realice el pago de su trabajo únicamente mediante **TRANSFERENCIA ELECTRÓNICA - Cuenta Corriente Bancolombia 21125259393**.
NO RECIBIMOS PAGOS EN EFECTIVO.

1994 - 2021: Una empresa con presencia nacional al servicio de la Industria Colombiana

📍 Calle 15 # 52 - 14 (Bogotá, Colombia)
☎ (+571) 261 2427

📞 (+57) 310 8078260

🌐 <https://www.mecaytro.com.co>
✉ gerencia@mecaytro.com.co

📘 Mecanizados y Troquelados

Fuente: elaborado por Mecanizados y troquelados S.A.S.